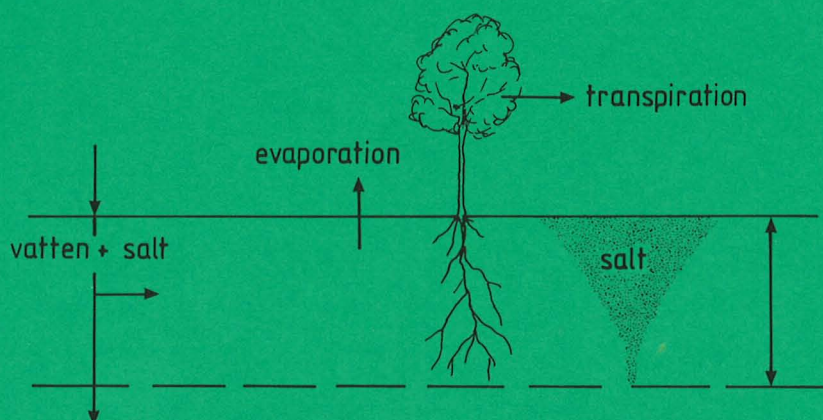


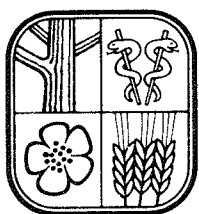


SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET

MARKFÖRSÄMRING GENOM SALTANRIKNING

Yngve Aronsson

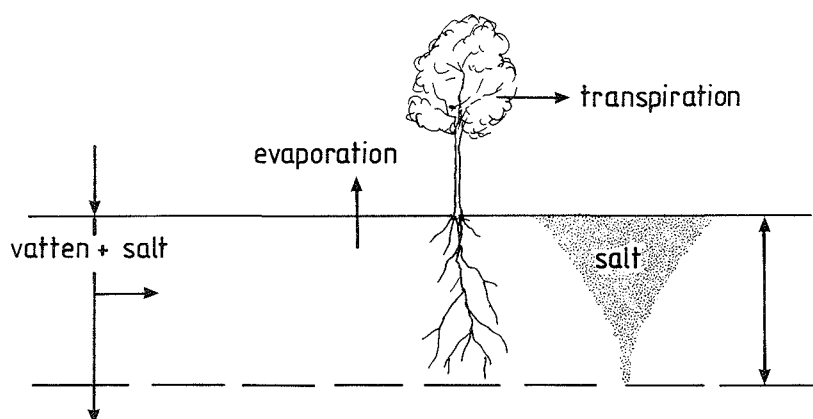




SVERIGES
LANTBRUKSUNIVERSITET

MARKFÖRSÄMNING GENOM SALTANRIKNING

Yngve Aronsson



Förord

Denna uppsats utgör Yngve Aronssons examensarbete. Arbetet har utförts vid avdelningen för lantbrukets hydroteknik med Harry Linnér som handledare.

Anders Bjerketorp har granskat uppsatsen och bidragit med värdefulla synpunkter vid redovisningen av materialet.

Utskriften har utförts av fil. mag. Barbro Hultqvist.

INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	sid
1. ABSTRACT	4
2. INLEDNING	5
3. SALTETS FÖREKOMST OCH FÖRDELNING I JORDEN	6
3.1 Marklösningen	6
3.2 Adsorberade katjoner	8
3.3 Jämviktsförhållanden mellan adsorberade katjoner och katjoner i marklösningen	9
3.4 Fördelning av salter i jorden	11
4. BESTÄMNING AV SALTHALT	12
4.1 Mätningar	12
4.2 Elektrisk konduktivitet	13
4.3 Agrikulturell tolkning av EC_e -värdena	16
5. PROBLEM ORSAKADE AV FÖRHÖJD SALTHALT	17
5.1 Osmotiska problem	17
5.2 Toxiska effekter	17
5.3 Strukturproblem	18
5.3.1 Marklösningens saltkoncentration	18
5.3.2 Sammansättningen hos de adsorberade katjonerna	18
5.3.3 Agrikulturell tolkning av ESP-värdena	19
5.3.4 Utflockning	20
5.3.5 Jonbyte som funktion av vattenhalten	22
6. ÖVRIGA EFFEKTER	23
6.1 Näringseffekter	23
6.2 Påverkan av jordmikroorganismer	23
6.3 Plantans ålder	23
6.4 Gronings- och planttillväxt	24
6.5 Vegetativ tillväxt	24
7. KLASSIFICERING OCH KARTLÄGGNING AV SALTJORDAR	25
7.1 Klassificeringssystem	25
7.2 Identifiering i fält	26
7.3 Vegetationssymptom	27
7.4 Kartläggning och provtagning	28
7.4.1 Bestämning av markens ESP-värde	28
7.4.2 Mätningar	28

7.4.3	SAR-jämförelsemetod	29
7.4.4	Korrelation med EC, pH och ESP	29
7.4.5	Förhållanden mellan EC_e och EC_1 , EC_2 , EC_5	30
8.	HUR UPPSTÅR SALTPROBLEM?	32
8.1	Försaltning genom bevattning	32
8.1.1	Direkt försaltning genom bevattning i samband med otillräcklig urlakning	32
8.2	Försaltning genom grundvatten (kapillär försaltning)	33
8.2.1	Kritiskt grundvattendjup	34
8.2.2	Påfyllning genom djupperkolerande regnvatten/bevattningsvatten	36
8.2.3	Påfyllning genom sippring	37
8.3	Faktorer som påverkar kapillär försaltning	37
8.3.1	Evaporationens och vegetationens inflytande på den kapillära försaltningen	37
9.	ALKALINISERING	39
10.	SALTBALANS FÖR BEVATTNAD MARK	40
10.1	Beräkning av urlakningsbehovet	41
10.2	Regionala saltbalanser	42
11.	BEVATTNINGSVATTENKVALITET	44
11.1	Saltrisk	44
11.2	Natriumrisk	46
11.3	Speciella toxiska effekter förorsakade av sprinklerbevattning	50
11.4	Bevattning med avloppsvatten	51
11.5	Förbättring av vattenkvalitén	51
12.	MARVÅRDANDE ÅTGÄRDER	53
12.1	Förbättring av saltjordar	53
12.2	Förbättring av alkalijordar	54
12.3	Förbättring av salt-alkalijordar	57
13.	ODLINGSÅTGÄRDER	58
13.1	Utsädes placering	58
13.2	Användning av handelsgödsel	59
14.	METODER FÖR BESTÄMNING AV SALT I MARK OCH VATTEN	60
15.	SAMMANFATTNING	82
16.	LITTERATURFÖRTECKNING	86

ABSTRACT

This report describes processes which give rise to salinization of soils and problems caused by salinization. The report also deals with classification, mapping and sampling of soils, soil conservation and cultivation measures. The report also includes a separate section dealing with specifications and methods for salinity classification in soil and water and salt balance calculations. The purpose of this section is to describe different methods of investigation which illustrate some of the salinity problems described in the theoretical part of this report.

2. INLEDNING

Jordförsaltning är ett mycket allvarligt problem i vår värld. Genom denna förvandlas bördiga jordar till ofruktbar mark.

Saltanrikningsprocesser förekommer i alla jordar. Salterna har sitt ursprung i förvittrat bergmaterial. Infiltrerande vatten transporterar de bildade salterna ned i djupare marklager, där de antingen fälls ut eller transporteras vidare i löst form. Modern materialet kan i enstaka fall ge upphov till hög saltkoncentration i jorden. Detta gäller speciellt om materialet utgöres av marina avlagringar i arida områden. Denna form av sälta benämnes primär sälta. Hög saltkoncentration i jorden beror i de flesta fall på att salt tillföres det övre jordlagret från någon yttre källa. Denna process benämnes försaltning. Då salt på detta sätt regelbundet tillföres jorden fås en omvändning av urlakningsprocessen, innebärande att salt från djupare markskikt transporteras till det övre markskiktet och åstadkommer s.k. sekundär sälta. Användning av salt bevattningssvatten i kombination med dålig dränering är den vanligaste anledningen till försaltningen.

Försaltade jordar är ett problem främst i arida områden. I tempererade humida klimat utlakas salterna av den rikliga nederbörden. Där har jordarna dessutom ofta en struktur som medför att infiltrationskapaciteten är stor och därför gynnsam för urlakningsprocesserna.

I denna uppsats redogöres för processer som ger upphov till saltanrikning och för problem förorsakade av saltanrikningen. Uppsatsen behandlar också i viss utsträckning klassificering och kartläggning av saltjordar samt dessutom åtgärder inom markvård och växtodling i samband med saltproblem. Till uppsatsen hör också en separat del med anvisningar om metoder för salthaltsbestämningar i jord och vatten samt saltbalansberäkningar. Avsikten med denna del är att ange olika undersökningsmetoder som belyser några av de saltproblem som finns beskrivna i teoridelen.

I uppsatsen användes ett siffersystem för angivandet av litteraturkällan. Varje referens i texten anges med en siffra inom parentes. Den aktuella siffran återfinns i litteraturförteckningen med uppgifter om författare, tryckår, titel m.m.

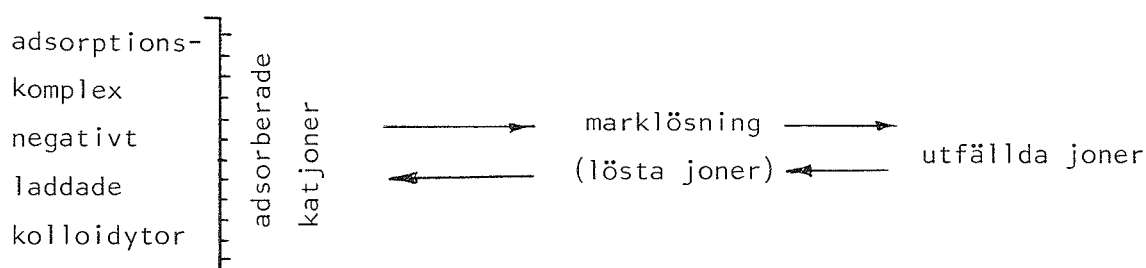
3. SALTETS FÖREKOMST OCH FÖRDELNING I JORDEN

Följande beskrivning är hämtad från Smedema, L.K. & Rycroft, D.W. 1983 (19) sid. 239-240.

Saltet förekommer i följande former i jorden:

- Saltjoner lösta i markvattnet (marklösningen)
- Katjoner adsorberade på markpartiklarnas negativt laddade ytor (adsorptionskomplex)
- Utfällda salter.

Det råder en dynamisk utbytesjämvikt mellan marklösningens katjoner och de joner som har adsorberats av komplexet och även mellan lösta och utfällda salter (figur 1):



Figur 1. Saltets förekomstformer i jorden (19).

3.1 Marklösningen

En saltjords dominerande joner är (19):

- Katjoner: Na^+ , Ca^{++} , Mg^{++} (K^+)
- Anjoner: Cl^- , SO_4^{--} , HCO_3^- , (CO_3^{--}) , (NO_3^-)

Dessa förekommer enligt tabell 1.

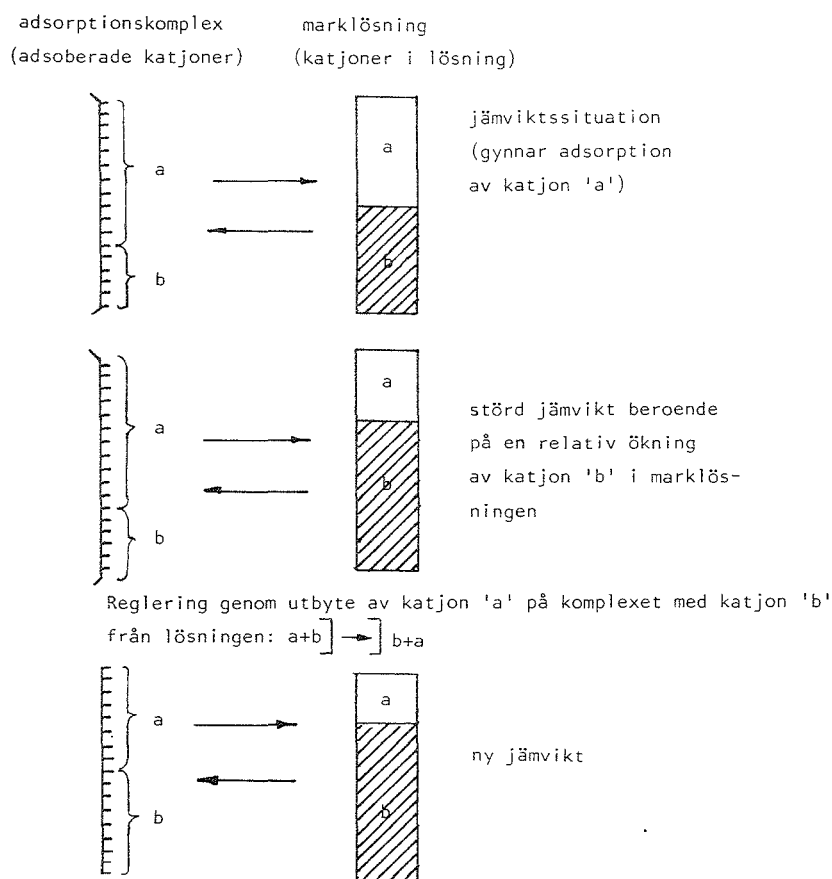
Tabell 1. Jonkoncentrationstendens i salta respektive icke salta jordar (egen sammanställning).

	Salt jord (koncentration)	Icke salt jord (koncentration)
Na^+	Hög i många jordar	Låg <5 % av lösliga katjoner består av Na^+
Ca^{++} Mg^{++}	Hög men i många jordar dock lägre än Na^+ konc.	Dominerar
K^+	Låg men något högre än i icke salt jord	Låg
Cl^- SO_4^{--}	Hög	Lägre än i salt jord
HCO_3^- CO_3^{--}	Låg Lägre koncentration vid (pH 6-8) Lägre koncentration vid högre pH. Vid pH upp till 8,5 är kvantiteten joner betydelselös	Högre än i salt jord

Saltjordarna har, som redan konstaterats, höga halter av mycket lösliga natriumsalter och klorider. De i jorden svagt lösliga kalciumkarbonaterna (CaCO_3), magnesiumkarbonaterna (MgCO_3) och gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) fälls ut medan natriumsalterna blir kvar i lösningen som de dominerande salterna. Koncentrationen av lösliga salter sjunker dock snabbt genom urlakning. De svårösliga salterna fälls ut snabbare än de hinner avlägsnas från marklösningen genom urlakning. Detta innebär att koncentrationen av Na^+ - och Cl^- -joner vid växelvis urlakning och försaltning ibland är av samma eller lägre storleksordning än koncentrationen av Ca^{++} -, Mg^{++} - och SO_4^{--} -joner i marklösningen (19).

3.2 Adsorberade katjoner

Markkolloidernas förmåga att till sina negativt laddade ytor binda katjoner benämns katjonbyteskapaciteten (CEC = cation exchange capacity uttryckt i me/100 g jord). Det existerar en dynamisk utbytesjämvikt mellan adsorberade katjoner och katjonerna i marklösningen. Detta förhållande belyses i nedanstående figur 2 (19).



Figur 2. Principer för katjonbytesprocessen (19).

Katjonbytesprocessen kompliceras av att bindingsstyrkan för katjoner av olika valens vanligen uppfyller villkoret $M^+ < M^{++} < M^{+++}$. Avvikelser från denna ordningsföljd förekommer dock ofta. Speciellt kan K^+ adsorberas hårdare än Mg^{++} och tidvis även hårdare än Ca^{++} . Det kan också vara skillnad i bindingsstyrka, och därmed i benägenhet att adsorberas till markkolloiden, mellan joner av samma valens. De allmännast förekommande utbytbara katjonerna i jorden kan med avseende på bindingsstyrka ordnas i följande serie: $Na^+ < K^+ < Mg^{++} < Ca^{++} < H^+$ (23).

I icke salta jordar är vanligen Ca^{++} den mest dominerande katjonen i marklösningen, varav följer att den envärda och i färre antal förekommande Na^+ -jonen har svårt att hävda sig och tränga ut den hårt bundna Ca^{++} -jonen från markkolloidens yta. Först då mer än hälften av katjonerna i marklösningen utgörs av Na^+ uppträder en mer omfattande beläggning av Na^+ på kolloiden (19).

I starkt salta jordar kan 90 % av katjonerna i marklösningen bestå av Na^+ , vilket leder till en mycket dominerande adsorption av denna jon (19).

3.3 Jämviktsförhållanden mellan adsorberade katjoner och katjoner i marklösningen

Med hjälp av en av Gapon utarbetad ekvation kan man beskriva jämviktsförhållandena mellan adsorberade katjoner och katjoner i marklösningen. För salta jordar där Ca^{++} -, Mg^{++} -, Na^+ -joner dominerar gäller följande ekvation (3):

$$\frac{\text{Na}^+_{\text{ads}}}{(\text{Ca} + \text{Mg})^{++}_{\text{ads}}} = K \sqrt{\frac{\text{Na}^+_{\text{sol}}}{(\text{Ca} + \text{Mg})^{+++}_{\text{sol}}}}$$

ads = adsorberade katjoner (me/100 g torr jord)

sol = lösbara katjoner (meL^{-1})

K = konstant (värde 0,015)

Följande samband kan förekomma för salta jordar:

$$(\text{Ca} + \text{Mg})^{++}_{\text{ads}} = \text{CEC} - \text{Na}^+_{\text{ads}}$$

CEC (katjonbyteskapaciteten) = den katjonbindande förmågan under definierade förhållanden uttryckt i me/100 g jord.

Procenttalet utbytbar natrium kan uttryckas på följande sätt:

$$\frac{\text{Na}^+_{\text{ads}}}{\text{CEC}} \times 100 \% = \text{ESP (exchangeable sodium percentage)}$$

Vidare kan natriumadsorptionsgraden skrivas:

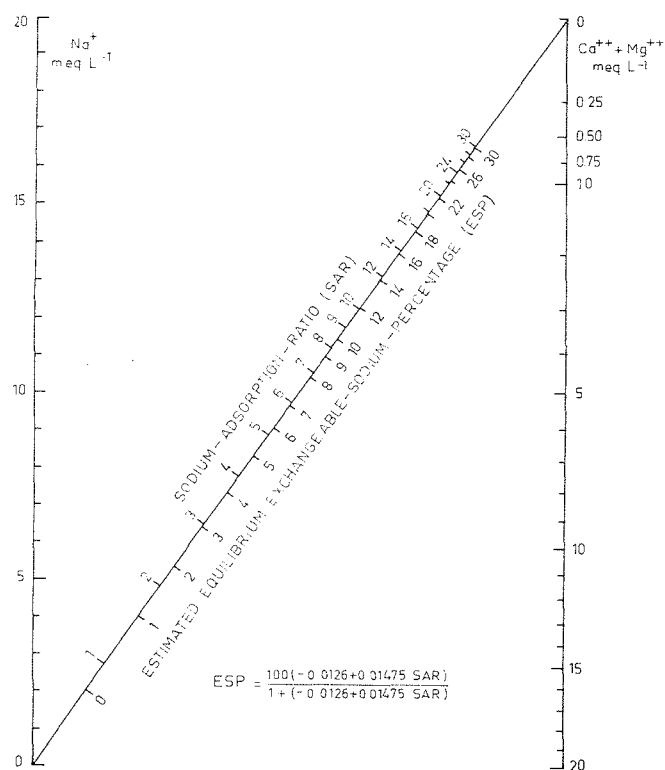
$$\sqrt{\frac{\text{Na}^+_{\text{sol}}}{(\text{Ca} + \text{Mg})^{+++}_{\text{sol}}}} = \text{SAR (sodium adsorption ratio)}$$

ESP kan också tecknas (19):

$$ESP = \frac{100(0,015 \text{ SAR})}{1 + 0,015 \text{ SAR}}$$

Denna empiriska ekvation återger ganska väl relationen mellan parametrarna ESP och SAR. Den kan användas för att visa hur Na^+ -jonkoncentration i marklösningen ökar på bekostnad av $\text{Ca}^{++}_{\text{ads}}$ och $\text{Mg}^{++}_{\text{ads}}$, resulterande i ett ökat ESP-värde, och vice versa.

Nomogrammet i figur 3 bygger på en empirisk relation mellan SAR och ESP.



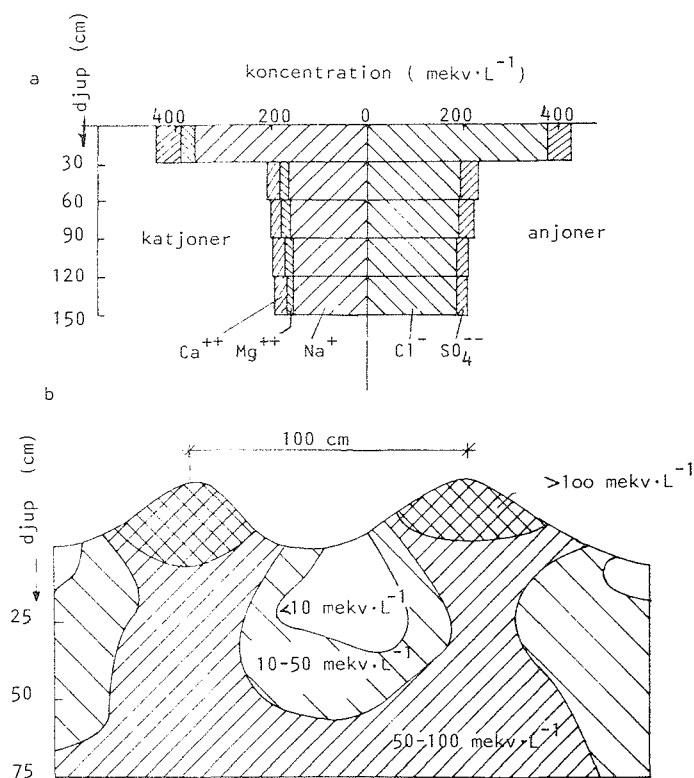
Figur 3. Nomogram avsett för bestämning av marklösningens/bevattningsvattnets SAR-värde och för bestämning av markens korresponderande ESP-värde (20).

3.4 Fördelning av salter i jorden

Förändringen av saltkoncentrationen i jorden i horisontell och vertikal led styrs av markvattnets rörelser. Jordmånsvariationen, förekomsten av rötter och mikroorganismer påverkar också saltförhållandena i jorden (19).

Figur 4a illustrerar hur saltkoncentrationen avtar med djupet under en torrperiod. Det omvända förhållandet råder vid nederbörd.

Figur 4b visar hur saltet fördelas vid bevattning i en fåra mellan två jordkammare. Det infiltrerande vattnet förflyttar saltet både nedåt och i sidled. I kammarnas toppar fås den högsta saltkoncentrationen. Detta förklaras av att det sker en kapillär fukttransport från omgivande jord till den torra exponerade toppen, varvid salt anrikas när fukten evaporerar.



Figur 4. Exempel på fördelning av salt i en jord (19).

4. BESTÄMNING AV SALTHALT

4.1 Mätningar

Vi kan indirekt bestämma de osmotiska krafterna med hjälp av saltkoncentrationerna, eftersom det råder ett proportionellt förhållande mellan saltkoncentrationen och de osmotiska krafterna. Mätningarna bör utföras när plantan tar upp sitt mesta vatten från jorden, det vill säga vid en fuktighetsgrad ungefär mitt emellan fältkapaciteten och vissningsgränsen (19).

Bestämning av saltkoncentrationen sker emellertid vid en högre fuktighetsgrad, nämligen vid mättnadspunkten (SP), på grund av svårigheter att extrahera ett marklösningsprov vid en lägre fuktighetsgrad. Provet är dessutom lätt reproducerbart vid mättnadspunkten (19).

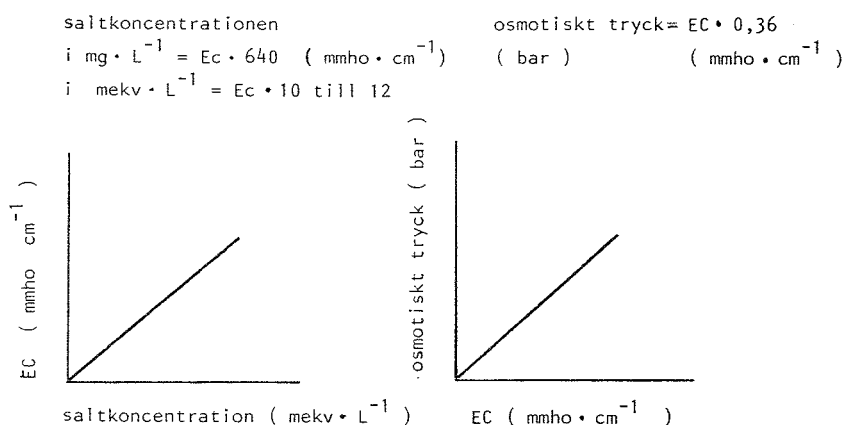
Saltkoncentrationen uttrycks normalt i $\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$ eller $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$, men kan också uttryckas i specifik elektrisk ledningsförmåga eller konduktivitet (EC) hos jorden (se avsnitt 4.2). EC-värdet är vanligtvis linjärt relaterat till saltkoncentrationen, och eftersom det även föreligger ett linjärt samband mellan saltkoncentrationen och de osmotiska krafterna så fås ett linjärt samband mellan de osmotiska krafterna och EC-värdet (19).

Den specifika elektriska ledningsförmågan (elektriska konduktiviteten, EC) hos en salin jord uppmätes i ett vattenmättat markextrakt. EC-värdet vid mättnadspunkten benämnes EC_e -värdet. De principiella sambanden mellan den elektriska konduktiviteten (EC_e) och saltkoncentrationen samt mellan konduktiviteten och det osmotiska trycket visas i figur 5.

Ett approximativt samband kan på empirisk grund tecknas mellan total salthalt och ledningsförmåga (6):

$$\frac{\text{ppm}}{64} = \frac{\text{EC} \cdot 10^6}{100} = \text{millival} \cdot \text{L}^{-1} = \text{milligramekvivalenter per liter}$$

I det följande redogörs närmare för den specifika ledningsförmågas innebörd, varjämte dess tillämpningspraxis något beröres. Exempel på tillämpad konduktivitetmätning kan studeras i den separata laborationsdelen av denna uppsats (Lab. 3).



Figur 5. Linjära förhållanden mellan saltkoncentration, elektrisk konduktivitet och osmotiskt tryck. Diagrammen kan användas för saltblandningar som normalt finns i saltjordar, men är mest korrekta vid tillämpningar på marklösningar nära SP (19).

4.2 Elektrisk konduktivitet

Teorin från detta avsnitt är huvudsakligen hämtad från Laborationskomp. i marklära 1982, Lab. 18:1, 2 (14).

Den elektriska konduktiviteten eller specifika elektriska ledningsförmågan ($K = \text{mho} \cdot \text{cm}^{-1}$) definieras som ledningsförmågan av elektrisk ström hos en fast ledare eller vätskepelare med en tvärsnittsarea av 1 cm^2 och en längd av 1 cm . K kan utgöra ett mått på de i en vätska ingående jonernas eller jonkomplexens (t.ex. kolloider) ledningsförmåga. K är strömtäthet, I , per spenningsfall, V , dvs:

$$K = \frac{I}{V}, \text{ men enligt Ohms lag är: } \frac{I}{V} = \frac{1}{R} \quad (R = \text{resistans})$$

$$\text{härav följer att } K = \frac{1}{R}$$

Samband:

$$1 \text{ siemens} = \frac{1}{\text{ohm}} = 1 \text{ mho (EC)}$$

$$0,001 \text{ mho} = 1 \text{ millimho (EC} \cdot 10^3)$$

$$0,000001 \text{ mho} = 1 \text{ mikromo (EC} \cdot 10^6)$$

κ kan bestämmas genom att R uppmätes med hjälp av en Wheatstone's brygga. Det finns även modernare apparatur som ger κ -värdet direkt. Mätningen utförs i bägge fallen med en mätcell bestående av två platinaelektroder. I det första fallet måste en cellkonstant (C) användas som korrigerar för elektrodavstånd och elektrod tjocklek så att motståndsmätningen överensstämmer med definitionen på κ . Vid direktmätning av κ behövs inga korrigeringar i detta avseende.

Den elektriska konduktiviteten korrigeras vid den rena motståndsmätningen enligt följande:

$$\kappa = \frac{C}{R} \text{ (mho} \cdot \text{cm}^{-1} = \text{Siemens} \cdot \text{cm}^{-1})$$

Värden som erhålles med ovanstående formel måste korrigeras med hänsyn till att jonernas dissociation avtar med ökad koncentration. Detta gäller för båda mätmetoderna. Värdet på jonslagets ledningsförmåga vid oändlig utspädning (den ekvivalenta ledningsförmågan Λ uttryckt i mho cm^{-1}) sättes in i ovanstående formel. Λ är temperaturberoende beroende på molekylernas värmerörelse. Här följer några värden på Λ för några olika jonslag, vid olika temperaturer.

Tabell 2. Ekvivalentledningsförmåga ($\text{mho} \cdot \text{cm}^{-1}$).

	0°	25°	50°
H^+	240	350	465
OH^-	105	192	284
SO_4^{--}	41	79	125
Cl^-	41	76	116
Na^+	26	51	82
K^+	41	75	115
Ca^{++}	30	60	98

Λ användes i formeln som ett mått på medeljonkoncentrationen. Därför måste en korrigering för de höga OH^- och H^+ värdena göras (speciellt i sura jordar).

H^+ -jonen eller OH^- -jonens andel i K räknas ut med följande formel.

$$K_{\frac{H^+}{(OH^-)}} = \frac{\Lambda \cdot c}{1\,000}$$

c = jonkoncentrationen $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$

Mätcellens volym är 1 cm^3 . Eftersom c anges i $\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ måste kvoten c divideras med 1 000.

$$\text{Sortanalys: } K_{H^+} = \frac{\underbrace{\Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^3}_{\Lambda} \cdot \underbrace{\text{mol} \cdot 1\,000 \cdot \text{cm}^{-3}}_c}{1\,000}$$

$$K_{H^+} = \Omega^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$$

Följande exempel belyser det praktiska förfarandet vid bestämning av i en marklösning.

- Ett jordprov om 10 g tillsättes 90 ml färskt destillerat vatten. Därefter sättes det i en skakapparat under 1/2 timme, centrifugeras vid $2\,000\text{ r} \cdot \text{min}^{-1}$ under 15 minuter och dekanteras slutligen i en syradiskad bägare.

Extraktets pH (mått på H^+ -koncentrationen) uppmätes. K -värdet bestäms därefter med någon av de beskrivna metoderna. K_{H^+} räknas ut med hjälp av pH-värdet enligt angiven formel och subtraheras från $K_{\text{marklös.}}$ -värdet.

Det erhållna korrigerade $K_{\text{korr.}}$ -värdet multipliceras slutligen med 10 på grund av provets spädning (1 del jord + 9 delar vatten), dvs:

$$K_{\text{marklösning}} = K_{\text{korr.}} \cdot 10\ (\text{mmho} \cdot \text{cm}^{-1})$$

Om lösningen förutsätts ha pH 5 vid 25°C , så är dess H^+ -jonkoncentration (c) $10^{-5}\text{ ekv. L}^{-1}$. K_{H^+} blir då:

$$K_{H^+} = \frac{\Lambda \cdot c}{1\,000} = \frac{350 \cdot 10^{-5} \cdot 10^{-3}}{1\,000} = 350 \cdot 10^{-8}\text{ mho} \cdot \text{cm}^{-1} = 350 \cdot 10^{-8} \cdot 10^{-3} = 350 \cdot 10^{-11}\text{ mmho} \cdot \text{cm}^{-1}$$

4.3 Agrikulturell tolkning av EC_e -värdena

Följande beskrivning är hämtad från Smedema, L.K. & Rycroft, D.W. 1983 (19) sid. 246.

Följande relationer mellan EC_e -värdena och effekten på grödor kan noteras (Schofield Scale):

$EC_e = 0-2$	mmhos	cm^{-1}	: betydelselös effekt på alla grödor
2-4	"	"	: lätt effekt på känsliga grödor
4-8	"	"	: betydelsefull effekt på många grödor
8-16	"	"	: endast salttoleranta växter kan växa
>16	"	"	: endast mycket resistenta plantor kan överleva.

5. PROBLEM FÖRORSAKADE AV FÖRHÖJD SALTHALT

Markförsaltningen ger upphov till osmotiska problem, toxiska problem och strukturproblem i tur och ordning skall presenteras här.

5.1 Osmotiska problem

I saltjordar ökar saltets vattenbindande krafter (osmotiska krafter) i proportion till jordens totala saltkoncentration ($OP = -0,36 \times EC$) (se figur 5 avsnitt 4.1). En planta måste här vid sitt vattenupptag använda mer energi än eljest för att övervinna såväl de osmotiska krafterna som de normalt förekommande kapillära krafterna (19). Plantans respiration ökar och dess tillväxt avtar, vanligen inom ett brett definitionsområde, linjärt med jordens ökande salthalt (12).

Den relativa avkastningen är för de flesta grödor vid en given saltkoncentration mera nedsatt i varma än i kalla klimat. Mycket av det hårt bundna vattnet blir aldrig tillgängligt för plantan. Resultatet blir att plantan i ett tidigt stadium visar det för saltjordar så karakteristiska tecknet på vattenstress (19).

Då jorden torkar ut mellan två grödor ökar saltkoncentrationen i jorden progressivt. Vid bevattning av jorden reduceras saltkoncentrationen plötsligt. Plantorna utsätts således för ett överskott av salt följt av ett plötsligt överskottsupptag av vatten. Detta kan föranleda bristning och död hos cellerna (10).

5.2 Toxiska effekter

Växter kan förgiftas genom ett för stort upptag av speciella joner, främst Na^+ , B^- , och Cl^- -joner. Även en ofördelaktig saltsammansättning i marklösningen kan medföra ett obalanserat upptag hos växten (19).

En växts salttolerans verkar vara relaterad antingen till dess möjlighet att kontrollera intaget av Na^+ - och Cl^- -joner eller till dess tolerans mot ett högt Cl^- -intag innan bladsymptom framträder (22).

Hög koncentration av Na^+ -joner i marklösningen medför ofta förgiftningsrisk. Risken avtar med samtidig hög koncentration av fria Ca^{++} -joner i lösningen. ESP-värdet anger kvoten Na^+/Ca^{++} och återspeglar således Na-giftigheten (19).

Känsliga växter är avocado, nötter, citrus och fruktträd med årligen avfallande blad (19).

De flesta plantor behöver mycket litet bor för sin tillväxt och är känsliga för överskottsupptag. Exempel på känsliga växter är många grönsaker, bönor, nötter, citrus spp, grapefrukt och många fruktträd (19).

Höga borkoncentrationer i jorden förorsakas oftast av någon yttre källa och då huvudsakligen av bevattningsvatten. Bor frigjort från markmineraler medför sällan något överskott i marklösningen (19). Det fordras dessutom större mängder vatten för att urlaka bor än natrium, eftersom bor bindes hårdare i jorden (1).

Bor förekommer mycket ofta i vatten från källor i geotermiska områden eller i områden med jordbävningsförkastningar. Borförgiftningar förekommer därför lokalt (19).

Känsliga grödor för överskottsupptag av kloridjoner är många fruktträd, några apelsin- och grapeträdsorter samt olika slag av bärbuskar (19).

5.3 Strukturproblem

Markkolloiderna adsorberar katjoner på sin yta (se avsnitt 3.2). Det ansamlade skiktet av joner benämnes diffust dubbelskikt. Då tjockleken av det diffusa dubbelskiktet ökar fås en minskning av attraktionskraften mellan de yttre jonerna och kolloidens yta. De sammanhållande krafterna mellan kolloiderna avtar också med ökande tjocklek av dubbelskiktet, vilket medför att kolloiderna separerar, med minskad utflockning och ökad dispersion som följd (se avsnitt 5.3.4) (19).

Dubbelskiktets tjocklek bestäms huvudsakligen av följande faktorer (19):

5.3.1 Marklösningens saltkoncentration

En låg saltkoncentration i marklösningen medför ett expanderande dubbelskikt med tilltagande dispersion som följd. En hög saltkoncentration ger däremot ett komprimerat dubbelskikt.

5.3.2 Sammansättningen hos de adsorberade katjonerna

Adsorberade divalenta katjoner på kolloidens yta (speciellt Ca^{++}) medför ett komprimerat skikt medan en stor andel adsorberade monovalenta

katjoner (speciellt Na^+) medför att skiktet expanderar och dispersionen ökar (se avsnitt 3.2).

Strukturproblem kan uppträda i jordar med normala saltkoncentrationer. Detta sammanhänger med vilken Na^+ -joner som i förhållande till mängden andra katjoner är adsorberade av utbyteskomplexet. Ett ökat ESP-värde ger således en ökad dispersion och därmed en svag markstruktur. Laboration 4 i uppsatsens separata laborationsdel visar dispersionens inverkan på markens genomsläpplighet.

5.3.3 Agrikulturell tolkning av ESP-värdet

I jordar med ett högt ESP-värde kan följande olägenheter uppkomma (19):

- Låg hydraulisk konduktivitet till följd av att porer blockeras av dispergerade kolloider.
- Rotutvecklingshämmande svärgenomträngliga skikt bildas av dispergerade kolloider som följer med nedåtgående vattenströmmar.
- Ofördelaktig jordkonsistens som innebär att jorden är hård när den är torr och plastiskt klibbig då den är fuktig. Jorden blir härmed mycket svårbearbetad.
- Skorpbildning på markytan leder till dålig vatteninfiltration och svårigheter för grodden att tränga igenom markytan (oregelbundna glesa stånd).

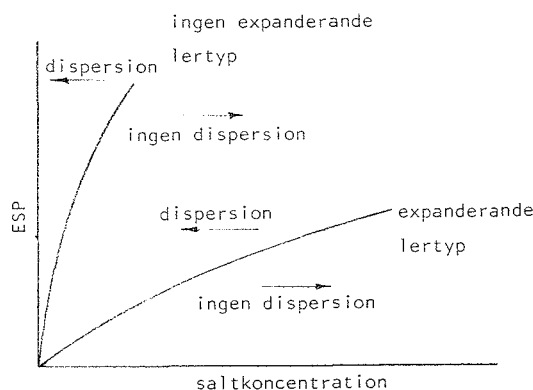
De enligt ovan försämrade dräneringsegenskaperna hos jorden leder till översvämningsproblem. Ett högt ESP-värde förorsakar ofta dålig dränering men en hos jorden naturligt uppkomna dåliga dräneringsegenskaper kan också leda till en hög salthalt och därmed höga ESP-värden.

Ett ESP-värde $\leq 15\%$ ($\text{EC}_e = 1,0 \text{ mmho cm}^{-1} = 10 \text{ mekv} \cdot \text{L}^{-1}$) anses i allmänhet inte förorsaka några problem för grödorna. Man måste emellertid då denna bedömning görs ta hänsyn till marklösningens saltkoncentration (19).

Då saltkoncentrationen i marklösningen är tillräckligt hög fås ingen dispersion även om ESP-värdet överstiger 15 %. Vid urlakning minskas saltkoncentrationen och dispersionsproblemen tilltar (19).

Vid jämförelse mellan två jordar (figur 6) som har samma ESP-värde kommer den jord som har den största andelen kolloider

(speciellt lera av expanderande typ) att ge de största dispersionsproblemen.

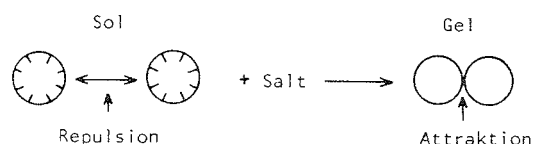


Figur 6. Dispersion hos jord influerad av saltkoncentrationen, ESP, och typ av lermineral (19).

Det bör vara mera korrekt att ange riskvärden med hänsyn till jordens texturella klass, t.ex. $ESP \geq 10\%$ för fintexturella jordar och $ESP \geq 15\%$ för grovtexturella jordar, än att ange en generell gräns vid ett $ESP \geq 15\%$ (19).

5.3.4 Utflockning

Den elektriska laddningen hos hydrofoba kolloider måste neutraliseras för att en utflockning eller koagulation skall ske (figur 7).



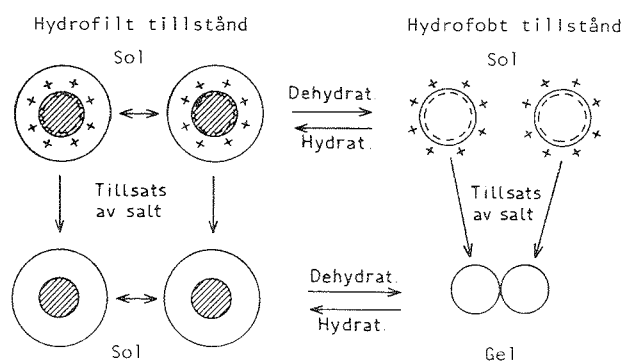
Figur 7. Koagulation av negativt laddad hydrofob sol genom avladdning med tillsatt salt.



Negativa hydrofoba kolloiders laddning neutraliseras av katjoner och en koagulation kommer till stånd. Positivt laddade kolloiders koagulation styrs på motsvarande sätt av anjoner (23).

Hydrofila kolloider kan ej fås att koagulera med mindre än att större delen av hydratationsvattnet avlägsnas. Dehydratationen kan ske

genom att t.ex. alkohol tillsättes eller att kolloiderna fryses eller uppvärms. Figur 8 illustrerar detta förhållande (23).



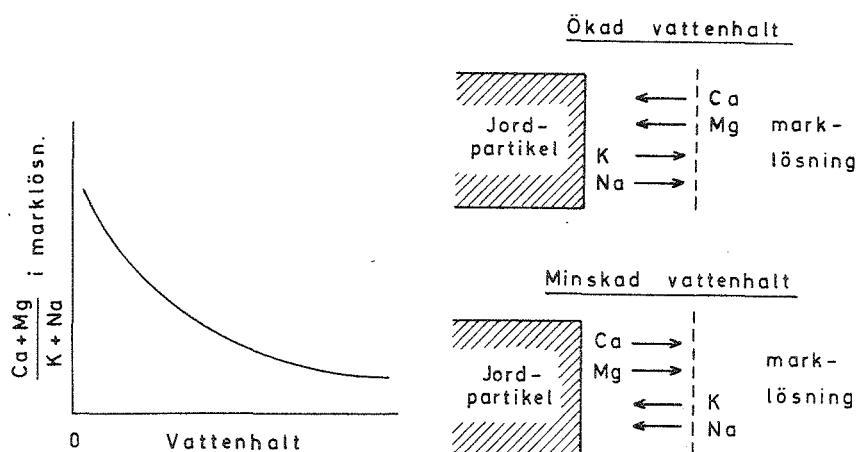
Figur 8. Schematisk framställning av en starkt hydrofil sols koagulation genom borttagande av partiklarnas negativa laddning och hydratationsvatten (23).

Storleken på kolloidpartikelns elektriska laddning bestäms av partikelns laddningstäthet, motjonernas valens och hydratation (se avsnitt 3.2). Elektrolytens art och koncentration har också betydelse i detta sammanhang (23).

Hos lerpartiklar ökar laddningstätheten med växande pH på grund av den ökande dissociationen av dess AlOH_2^- och SiOH -grupper. Positivt och negativt laddade kolloidpartiklar attraherar varandra och bildar dubbelpartiklar som kan vara neutrala eller få varierande laddning. Dessa kan sedan bindas till andra partiklar och det sker en s.k. ömsesidig koagulation. Koagulation kan ofta förhindras genom att de jonsvärmsladdningar som neutraliserar kolloidpartiklarnas laddning repelleras av omgivande likartade jonsvärmars laddningar. Motjonernas förmåga att neutralisera partikelns laddning är beroende av jonens valens och effektiva storlek, vilket tidigare har beskrivits i avsnitt 3.2. Sålunda har Ca^{++} -jonen starkt utflockande verkan medan Na^+ -jonen har dispergerande verkan. Förklaringen till detta är att Ca^{++} -jonen med sin högre laddning och mindre jonvolym (jon + vattenhölje) nedsätter kolloidpartikelns elektriska potential i högre grad än Na^+ -jonen (23).

5.3.5 Jonbyte som funktion av vattenhalten

Då markens vattenhalt ändras förskjutes jonbytesjämvikten mellan marklösningen och markpartiklarna. Denna förskjutning sker mellan joner av olika valens. Vid ökad vattenhalt ökar adsorptionen av tvåvärda joner som Ca^{++} och Mg^{++} genom att en ekvivalent mängd envärda joner som K^+ och Na^+ desorberas. Vid minskning av vattenhalten fås det motsatta förhållandet. Vid bevattning som följs av upptorkning fås sådana processer (figur 9) (23).



Figur 9. Inverkan av markens vattenhalt på adsorptionen av tvåvärda och envärda katjoner (23).

6. ÖVRIGA EFFEKTER

6.1 Näringseffekter

Antagonistiska och synergistiska effekter kan uppkomma vid en ofördelaktig saltsammansättning hos marklösningen. Då en jon föreligger i stort överskott kan den interferera med andra joner och försvåra dessas upptagning av växten.

Överskott av Mg^{++} i marklösningen kan medföra att växten förgiftas genom för stort upptag av denna jon. Härmed hämmas också växtens upptagning av Ca^{++} och K^+ . Denna effekt minskas om marklösningen samtidigt innehåller måttligt höga koncentrationer av Ca^{++} . Överskott av Ca^{++} kan också medföra ett obalanserat upptag hos växten. Denna olägenhet kan på liknande sätt kompenseras genom samtidig närvaro av Na^+ och K^+ (2).

Höga koncentrationer av SO_4^{--} kan leda till förgiftning genom att hämma växtens upptag av Ca^{++} och underlätta upptaget av Na^+ (2).

Ett ökat pH, beroende på en ökning av bikarbonat, reducerar växtens förmåga att ta upp P, Fe, Zn och Mn. Detta faktum förklaras huvudsakligen av att jorden blir ogenomsläpplig, dåligt luftad, kletig och mycket svårbearbetad (10).

6.2 Påverkan av jordmikroorganismer

De olika mikroorganismernas känslighet för salter varierar mycket. Nitrat och nitritproducerande organismer är känsliga, medan azotobakter och ammoniakproducerande organismer är relativt resistenta. Nitrifierande mikroorganismer förgiftas vid relativt låga alkalisaltkoncentrationer. Detta innebär att många högre växter som tål låga saltkoncentrationer ändå kan visa tecken på indirekt skada beroende på en försämrad nitrifikation (9).

6.3 Plantans ålder

Plantor är salttoleranta antingen i groningsstadiet eller i det späda plantstadiet eller i ett senare utvecklingsstadium. Toleransen kan även gälla alla stadierna. Utvärderingen av en grödas salttolerans görs därför i alla stadier av tillväxten fram till och med mognaden (1).

De flesta grödor är dock mera känsliga för salt under det unga plantstadiet än under senare stadier (1).

6.4 Gronings- och planttillväxt

Då salthalten ökar från relativt låga koncentrationer fås en progressiv hämning av groningsförloppet. Högre saltkoncentrationer medför en avtagande groningsbenägenhet. Höga koncentrationer av vissa joner kan också utöva toxiska effekter som hämmar groningen eller förorsakar abnormiteter hos plantan (se avsnitt 5.2) (1).

Ju högre temperaturen stiger över plantans temperaturoptimum för tillväxt, desto saltkänsligare blir den (11).

En ökad markfuktighetstension medför ökad salttransport till det övre skiktet av markytan, vilket innebär risk för skador på utsädet (1).

6.5 Vegetativ tillväxt

En ökad salthalt i marklösningen medför ökade osmotiska krafter och därmed försvårade upptagningsförhållanden för grödan. Till att börja med kommer den vegetativa tillväxten att avtaga utan tecken på yttre skador. Det är därför svårt att i tid upptäcka saltskador på fältet. Vid senare stadier syns förändringar hos växten i form av förtjockad kutikula med tendens mot succulens hos vissa grödor och vaxiga, djupt blågröna blad. Brännskador på bladen kan förekomma vid högre salthalter (4).

7. KLASSIFICERING OCH KARTLÄGGNING AV SALTJORDAR

7.1 Klassificeringssystem

Det idag mest använda systemet för klassificering av saltjordar har utvecklats av Förenta Staternas saltlaboratorium (tabell 3). EC_e -värdet användes för att diagnosticera osmotiska problem och ESP-värdet för dispersionsproblem (19).

Tabell 3. Förenta Staternas saltlaboratoriums system för saltjordar (20).

	$EC_e < 4 \text{ mmhos cm}^{-1}$	$EC_e > 4 \text{ mmhos cm}^{-1}$
ESP < 15 %	icke-salta jordar icke-alkaliska jordar	salta jordar
ESP > 15 %	alkaliska jordar	salta - alkaliska jordar

pH-värdet följer ofta följande mönster (19):

- salta jordar pH < 8,5
 - salta alkaliska jordar pH ~ 8,5
 - alkaliska jordar pH = 8,5-10
- bestämt i ett
mättat extrakt

Närvaro av kalk i jorden kan påverka denna så att pH-värdet överstiger 8,5 vid ett lågt ESP-värde. Gipsjordarnas pH-värde överstiger däremot sällan 8,2 oavsett ESP-värdet.

Analytiska resultat av de olika saltjordarna kan utläsas i tabell 4.

Tabell 4. Typiska analytiska data för olika typer av salta jordar (20).

SP %w	CEC*	Exchange Complex				H ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	Na ⁺	Saturation extract						Cl ⁻	Total	EC _e (mmhos. cm ⁻¹)	ESP %	SAR _e	pH	Gyp- sum (meq/ 100 gm soil)	Alka- line earth carbo- nates**				
		Na ⁺	K ⁺	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺					K ⁺	Total	CO ₃ ²⁻	HCO ₃ ⁻	SO ₄ ²⁻	CO ₃ ²⁻												
(meq.100 gm ⁻¹ soil)											(meq.L ⁻¹)																
Non-saline, non-sodic soils																											
36	20	< 1	2	11	6	1	2.7	2.3	1.2	0.9	7.1	0	2.6	2.1	0.9	5.6	0.6	2	0.8	6.4	0	-					
32	29	3	< 1			0	3.3	1.9	12.2	0.7	18.2	0	6.1	4.3	4.9	15.4	1.7	10	8.0	7.8	0	+					
40	17	< 1	< 1			0	2.8	1.7	5.2	0.2	9.9	0	6.6	2.7	0.4	9.7	0.8	3	3.5	7.9	0	+					
Saline soils																											
52	14	2	< 1			0	31.5	37.2	102.0	0.2	170.9	0	4.5	90.0	78.0	172.6	13.9	13	17	7.9	7.1	+					
47	17	2	< 1			0	37.0	34.0	79.0	0.4	150.4	0	7.2	62.2	47.0	148.4	12.0	8	13	8.0	0	+					
40	19	2	3			0	28.4	22.8	53.0	1.1	105.3	0	5.2	74.0	29.0	108.2	8.8	10	11	8.0	0	+					
Sodic soils																											
59	33	6	1			0	1.1	1.4	15.6	0.4	18.5	0	6.5	8.5	2.9	17.9	1.7	18	14	8.3	0	+					
61	34	8	1	11	10	4	1.4	1.0	21.5	0.3	24.2	0	3.3	3.8	16.7	23.8	2.5	24	20	7.3	0	-					
39	22	10	7			0	1.1	0.3	29.2	4.1	34.7	8.4	18.7	4.6	7.5	39.2	3.2	46	35	9.6	0	+					
Saline-sodic soils																											
62	36	9	1	10	12	4	6.7	9.9	79.5	0.5	96.6	0	2.4	20.1	72.0	94.5	9.2	26	28	7.3	0	-					
60	40	11	1			0	32.4	38.3	145.0	0.5	216.2	0	3.3	105.0	105.0	213.3	16.7	26	24	7.8	42.2	+					
36	26	17	2			0	0.6	0.9	58.5	1.6	61.6	5.0	19.9	21.5	16.3	62.7	5.6	63	68	9.3	0	+					

* I princip: CEC = Na+K+Ca+Mg+H, i tabellen är inte alla adsorberade katjoner medtagna

** Närvaro (+) eller frånvaro (-)

7.2 Identifiering i fält

Vanligen måste jorden innehålla en ganska hög saltkoncentration för att den med blotta ögat skall bedömas vara en saltjord. Laboratorieundersökningar är nödvändiga för en säker bedömning. Fältutseende och vegetationsutseende ger endast indikationer på saltförekomst. Symptom på saltförekomst är (19):

- effloresceringsfenomen: kristallina saltavlagringar i finfördelad form reflekterar ljuset speciellt på exponerade höjder. Evaporationen är här stark och medför att saltavlagringar kan bildas genom att salt transporteras med evaporationsströmmarna till markytan.
- fuktig yta med oljigt utseende: beror på salternas hygroskopitet, speciellt CaCl₂.
- mycelier i jordprofilen: salt fälls ut i de fina porerna och bildar mönster av tunna vita ådror (vanligen karbonater).
- saltkristaller kan iakttas på specifika djup i jorden (speciellt med gipskristaller).

- skorpor av stora mängder kristallint salt leder till bildning av hårda, ogenomträngliga lager i jorden.
- mörk film på markytan: består av en saltfilm innehållande dispergerat organiskt material (bildas speciellt i närvaro av Na_2CO_3).

De fem första punkterna indikerar en hög salthalt med ett högt EC-värde, men ESP-värdet kan också vara högt. Den sista punkten indikerar alkalitet med ett högt ESP-värde och speciellt högt pH.

7.3 Vegetationssymptom

Typiska symptom är (19):

- hämmad tillväxt
- fläckiga fält, dvs bara fläckar i grödan
- glanslös mörk till blågrön färg och tecken på förgiftning som har beskrivits i avsnitt 6.5.

Salthalten måste vara hög för att ovanstående symptom skall framträda. Vid lägre saltkoncentrationer blir i regel grödan jämnt hämmad över fältet utan att visa några speciella tecken på förgiftning (19).

7.4 Kartläggning och provtagning

Föreanta Staternas saltlaboratoriums system för klassificering och kartläggning är mycket användbart, eftersom de två klassificeringsparametrarna EC och ESP ger en god diagnostisk bild av de flesta mera väsentliga saltproblemen. De uppsatta gränserna för EC_e och ESP är emellertid mycket allmänna och systemet är därför främst användbart för preliminära bestämningar av salttillståndet inom det aktuella området (19).

Jordsälten influeras av faktorer som årstid, gröda, bevattningsschema, jordbearbetning o.s.v. Kartläggningsresultaten kommer därför att variera i paritet med dessa faktorer.

Metodiken för provtagningen i fält är följande (19):

- Provtagningsplatser väljs slumpvis inom det aktuella området. Detta förfarande är lämpligt i de fall alla prov tillhör en och samma statistiska population.
- Stratifierade prov är att föredraga framför slumpvisa prov då det kan förmodas att saltvariationen inom ett område inte är helt

slumpartad utan influeras av faktorer som mark- och dräneringsförhållanden, topografi, jordbearbetning o.s.v.

I de flesta fall är det svårt att insamla den mängd prov som behövs för att en säker statistisk analys skall kunna utföras. Det är emellertid vanligen tillräckligt att fastställa de allmänna mönstren och de viktigaste orsakssammanhangen, utifrån vilka sedan värdefulla, och tämligen säkra slutsatser kan dras.

Saltvariationerna avtar som regel med djupet, varför flest prover bör tagas i den översta profilzonen. Standarddjup för provtagning är 10 cm, 30 cm, 60 cm, 100 cm och 150 cm. Saltskorpor skall insamlas separat.

7.4.1 Bestämning av markens ESP-värde

Flera metoder kan användas för att mäta jordens ESP-värde (19).

- Direktmätning av Na^+_{ads} (vid noggranna bestämningar)
- SAR-jämförelsemetod (vid rutinarbete)
- Bestämning av ESP genom jämförelse mellan pH och EC (vid mycket grova uppskattningar).

7.4.2 Mätningar

ESP-mätningen omfattar följande steg (19):

- Genom tillsättning av NH_4^+ förträngs samtliga joner som är adsorberade på markkolloiden. Den förträngda mängden Na^+_{ads} -joner (me/100 g jord) uppmätes sedan i marklösningsextraktet. Allt är standardiserat till mättnadspunkten.
- Mätning av katjonbyteskapaciteten, CEC (me/100 g jord), görs oftast genom att man mättar komplexet med en katjon, t.ex. Na^+ , och därefter avlägsnar katjonen och mäter den utträngda kvantiteten i marklösningsextraktet (standardiserat till pH = 7,0).
- Beräkning:
$$\text{ESP} = \frac{\text{Na}^+_{\text{ads}}}{\text{CEC}} \cdot 100 \%$$

Följande räkneexempel får illustrera tillvägagångssättet för bestämning av utbytbart natrium (15):

Exempel: Analys av 5 g jord visade att den totala koncentrationen av utbytbara katjoner var 1,25 mekv var 0,8 mekv utbytbart natrium. Uttryck katjonbyteskapaciteten i mekv/100 g jord och utbytbart natrium i procent.

Utbytbart natrium = totala natriummängden extraherad av ammoniumacetat - lösligt natrium. Allt uttryckes i mekv/100 g jord.

Lösning:

I 5 g jord är den totalt utbytbara mängden katjoner = 1,25 mekv (CEC)

I 100 g jord är den totalt utbytbara mängden katjoner (CEC)

$$= \frac{1,25 \cdot 100}{5} = 25 \text{ mekv/100 g jord}$$

Utbytbar natriumprocent (ESP)

$$\text{ESP} = \frac{0,8 \cdot 100}{1,25} = 64$$

eller,

utbytbart Na/100 g jord

$$= \frac{0,8 \cdot 100}{5} = 16 \text{ mekv.}$$

7.4.3 SAR-jämförelsemetod

ESP-värdet för en mättad lösning kan på basis av SAR_e empiriskt bestämmas i diagrammet på sidan 10 (figur 3). De SAR-värden som erhålls för extrakt från jordar med annat mark/vattenproportionsförhållande (ej mättade lösningar) bör även gälla SAR_j (bevattningsvatten). För grova uppskattningar kan oomvandlade värden användas (19).

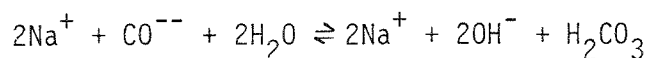
Stora felaktigheter kan uppkomma trots att omvandlade SAR-värden användes om marklösningen innehåller större kvantiteter av svårlösliga Ca- eller Mg-salter och CO_3^{--} eller HCO_3^- . Marklösningens sammansättning kommer då att påverkas av dessa joners utfällning och upplösning (19).

7.4.4 Korrelation med EC, pH och ESP (7)

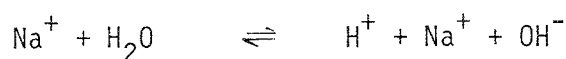
Följande samband råder mellan EC, pH och ESP (19):

- Vid konstant ESP ökar EC medan pH minskar. Ett ökat EC-värde innebär en ökad saltkoncentration i marklösningen och därmed en ökad ansamling av baskatjoner på utbyteskomplexet. H^+ -joner frigöres på detta sätt från komplexet och förorsakar en pH-sänkning i marklösningen.

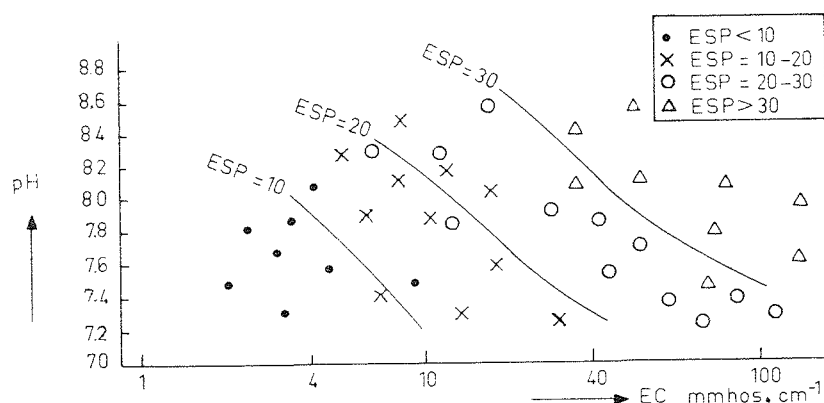
- Vid konstant EC ökar pH med ESP. Förklaringen är att ett högt ESP-värde korresponderar med en hög Na^+ -koncentration i marklösningen. Genom hydrolys ökar koncentrationen av OH^- -joner i marklösningen:



eller



- ESP ökar med EC och tvärtom. Det förekommer också att ESP minskar eller är konstant med ökat EC.



Figur 10. Förhållanden mellan pH, ESP och EC (saltkoncentration) som ofta förekommer i salta jordar (19).

7.4.5 Förhållanden mellan EC_e och EC_1 , EC_2 , EC_5 (13)

Vid relativa bestämningar av markens salthalt och saltfördelning speciellt inom större områden mäter man ofta konduktiviteten i jordprovet vid ett lägre jord/vatten-förhållande än det som gäller för en mättad jord. Fördelen är att ett prov genom den högre vattenhalten lätt kan erhållas genom filtrering. För extraktion av ett jordprov vid mättnadspunkten måste vakuumutrustning användas. Mark/vattenextraktproportionerna kan t.ex. vara (19):

EC_1 -värde: mätt i ett 1:1 mark/vattenextrakt (100 g torr jord i 100 g vatten).

EC_2 -värde: mätt i ett 1:2 mark/vattenextrakt.

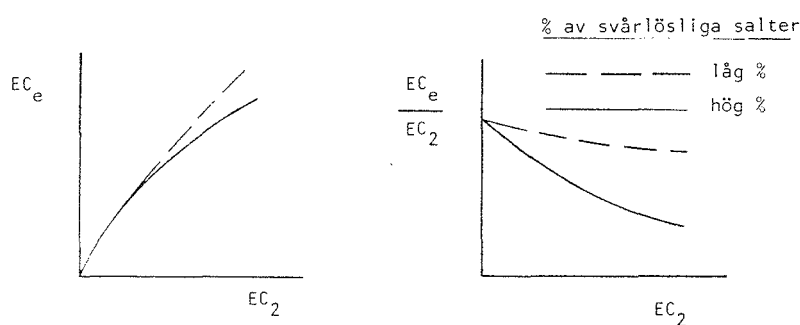
EC_5 -värde: mätt i ett 1:5 mark/vattenextrakt.

EC_x -värdena kan omvandlas till EC_e -värden genom korrelation. Metodiken är följande:

- Ett bestämt antal av områdets provrutor avsättes för bestämning av både EC_e - och EC_x -värdet. Relationen EC_e/EC_x kan därefter uppställas.
- På övriga provytor uppmätes endast EC_x -värdet.
- Följande uppställning kan nu göras för att omvandla EC_x -värdena i motsvarande EC_e -värden:

$$EC_e = \frac{EC_e}{EC_x} \cdot EC_x$$

Ovanstående ekvation är lämplig att använda i områden med likartad saltsammansättning. När jorden innehåller svårslösliga salter fås ett avtagande EC_e/EC_2 -förhållande på grund av att mer salt går i lösning i det mera utspädda EC_2 -extraktet än i EC_e -extraktet. När jorden endast innehåller lättlösliga salter blir förhållandet EC_e/EC_2 mera konstant (figur 11).



Figur 11. Typiska förhållanden mellan marklösningens EC-värden för olika extraktionsförhållanden (19).

EC_e -värdet kan också beräknas medelst följande ekvation (19):

$$EC_e = \frac{\theta_x}{\theta_{SP}} \cdot C_x$$

Ekvationen bygger på att ett omvänt linjärt samband antas råda mellan EC -värdet och fuktighetsinnehållet (θ) i jorden. θ_{SP} är vattenhalten (som fraktion av 1) hos en jord vid mättnadspunkten. Vid närvaro av svårslösliga salter gäller ej den antagna omvända proportionaliteten. Ekvationen måste därför användas med omdöme för att alltför stora felberäkningar skall undvikas.

8. HUR UPPSTÅR SALTPROBLEM?

8.1 Försaltning genom bevattning

Med markförsaltning menas en utveckling av en icke salt jord till en salt jord. Försaltningen innebär en koncentrationsökning av lösliga salter i jorden och marklösningen. Alltefter saltsammansättningen uppkommer saltjordar eller alkaliska jordar. Ett ökat ESP-värde innebär en ökad natriumandel och därmed en utveckling mot en alkalisk jord (19).

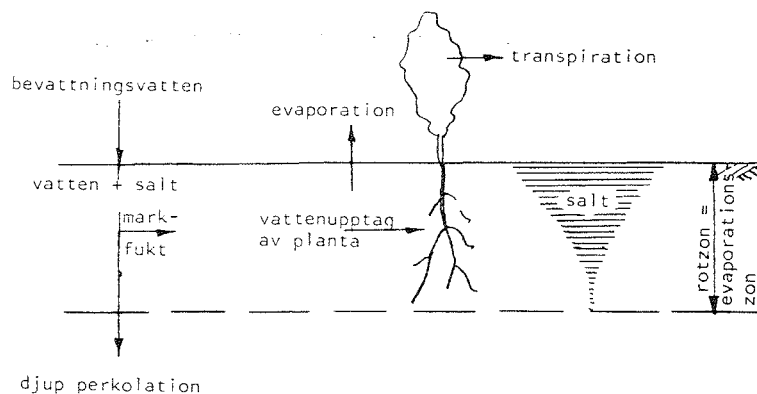
De två huvudsakliga försaltningsprocesserna i samband med bevattning skall här beskrivas.

8.1.1 Direkt försaltning genom bevattning i samband med otillräcklig urlakning

Vatten som används för bevattning innehåller alltid större eller mindre mängder salt. Den mesta bevattningen sker i form av regn. Regnvattnet perkolet genom jorden och tar upp salter och för dessa med sig till grundvattnet eller till floder och andra vattendrag, vilka på så sätt saltberikas (19).

Grundvatten är ofta starkt saltbemängt, särskilt under arida förhållanden, och kan därför ge upphov till stora problem om det användes som bevattningsvatten. Den höga salthalten i grundvatten inom arida områden förklaras av ringa nederbörd och hög evaporation, vilket medför en minskning av grundvattenvolymen och därmed en ökning av saltkoncentrationen i grundvattnet. Saltkoncentrationen i floder ökar under lågvattenssäsongen och minskar under högvattenssäsongen (19).

Figur 12 visar det direkta försaltningsförloppet vid bevattning.



Figur 12. Direkt försaltning genom bevattning (19).

Vid varje bevattningstillfälle transporteras en viss mängd salt till rotzonen. Detta salt kommer att ackumuleras i rotzonen/evaporationszonen när marken förlorar vatten genom evapotranspirationen. Detta gäller endast under förutsättning att en urlakning av salt av samma storleksordning som det genom bevattningsvattnet intransporterade (saltbalansbegreppet) ej sker. Borttransporten av salt kan ske genom urlakning med djupperkolerande vatten ned till nivå under rotzonen.

Den beskrivna typen av försaltning inträffar vid en hög salttillförsel och/eller då saltutflödet från rotzonen är lågt (19).

Salttillflödet gynnas av att (19):

- klimatet är hett och torrt (stort bevattningsbehov)
- vattnet är salt.

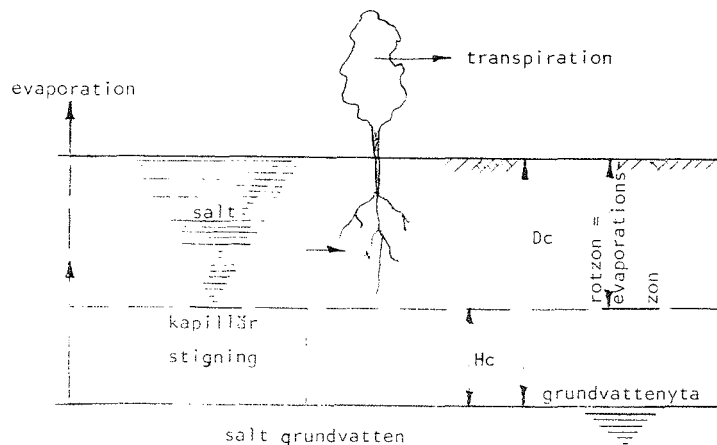
Saltutflödet motverkas av att (19):

- klimatet är hett och torrt (lite regn/hög evaporation)
- mängden bevattningsvatten anpassas efter grödans vattenförbrukning dvs lika mycket tillförs som transpireras (minimumbevattning)
- dålig genomsläpplighet, som ej medger tillräcklig perkolation och avbördning genom dränering.

8.2 Försaltning genom grundvatten (kapillär försaltning)

Grundvattnet kan försalta jorden genom evapotranspiration direkt från en grundvattenyta belägen i evapotranspirationszonen. Saltvatten kan också transporteras kapillärt upp till evapotranspirationszonen från en grundvattenyta belägen på större djup. Grundvattenytan får dock ej ligga så djupt att de kapillära transportkrafterna ej räcker till (figur 13) (19).

Jordar med saltproblem är ofta jordar som bevattnas intensivt, vilket i många fall har resulterat i en kraftigt förhöjd grundvattenyta. Under förhållanden med hög permeabilitet hos jorden eller där bevattningsintensiteten varit för låg kan upp till 20-30 % av det djupperkolerande vattnet nå grundvattnet. Höjningar av grundvattenytan från 30 m till 1 m under markytan har uppnåtts på en del jordar under 10-15 år. Kapillärtransporten blir här betydande (19).

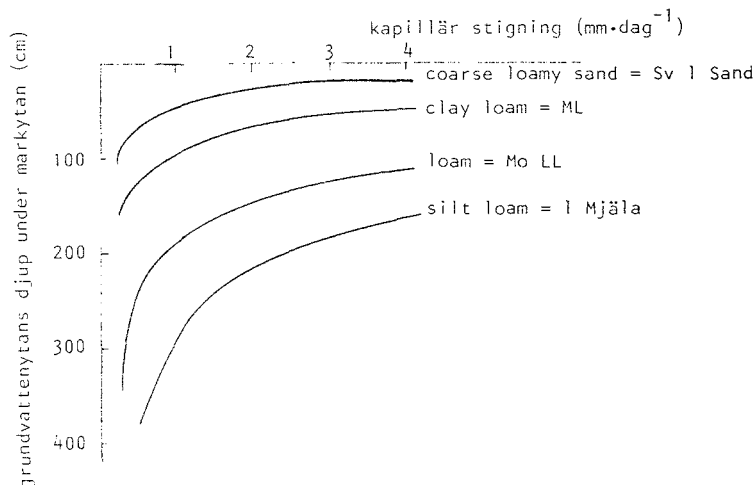


Figur 13. Kapillär försaltning (19).

8.2.1 Kritiskt grundvattendjup

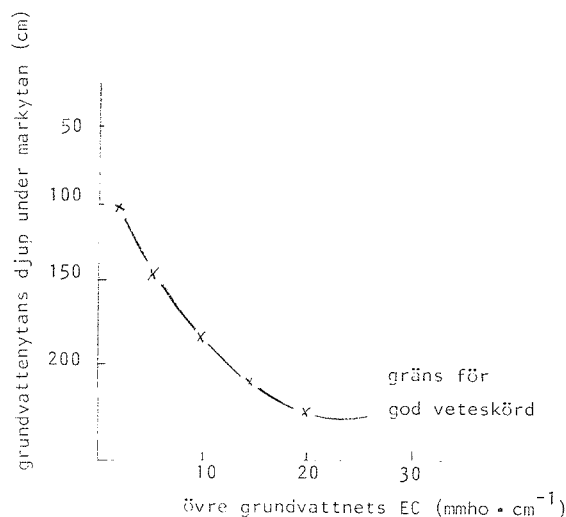
Hastigheten av kapillärflödet från en grundvattenyta avtar med höjden över vattenytan. Den med kapillärflödet transporterade saltmängden till evaporationszonen är därför proportionell mot dess höjd över grundvattenytan. Då höjden över grundvattenytan är så stor att kapillärtransporten av salt kan anses vara betydelselös är den så kallade kritiska kapillärhöjden (H_c) uppnådd (19).

Kapillärkrafterna och därmed H_c -värdet ökar med en tilltagande andel fina porer i jorden. H_c -värdet är därför högt i t.ex. fin sandig lera och mjällig lera och lågt i grovt grus. Välstrukturerade, medium till fina jordar har intermediära värden (figur 14) (19).



Figur 14. Kapillär stighastighet till markytan från stationära grundvattenytan på olika djup när jordfuktighetstrycket vid markytan är 16 bar (16).

H_C -värdet ökar med en ökad saltkoncentration hos grundvattnet eftersom storleken av det kapillära uppåtgående saltflödet är produkten av 'salthalten x flödes hastigheten'. Den kapillära försaltningen är mycket liten om saltkoncentrationen i den övre delen av grundvattnet är $< 1\,000\text{ mg L}^{-1}$ ($EC \leq 1,5\text{ mmhos cm}^{-1}$). Sambandet mellan kritiskt grundvattendjup H_C och saltkoncentrationen hos grundvattnet kan utläsas i figur 15 (19).



Figur 15. Växelverkan mellan kritiskt grundvattendjup och saltkoncentrationen hos grundvattnet (16).

I områden där grundvattendjupet på grund av klimatiska betingelser uppvisar stora fluktuationer uppskattas H_C -värdet vid ett lägsta kritiska grundvattendjup (D_C) vid slutet av en lång torrperiod.

Nedanstående indikativa H_C -värden gäller endast då jorden inte är skiktad. Förekomst av skikt minskar höga H_C -värden men kan också öka de låga (19).

- sand (coarse → fine)	$H_C = 50 - 75\text{ cm}$
- loamy sand, sandy loam	$H_C = 100 - 150\text{ cm}$
- fine sandy loam, silt loam	$H_C = 150 - 200\text{ cm}$
- loam, clay loam, clay	$H_C = 100 - 150\text{ cm}$

Grundvattenytan kan på grund av kapillärtransporten sänkas ned till under D_C -nivån. Den kapillära salttransporten upphör därmed. Kapillärtransportförlusterna måste kompenseras genom vattentillförsel

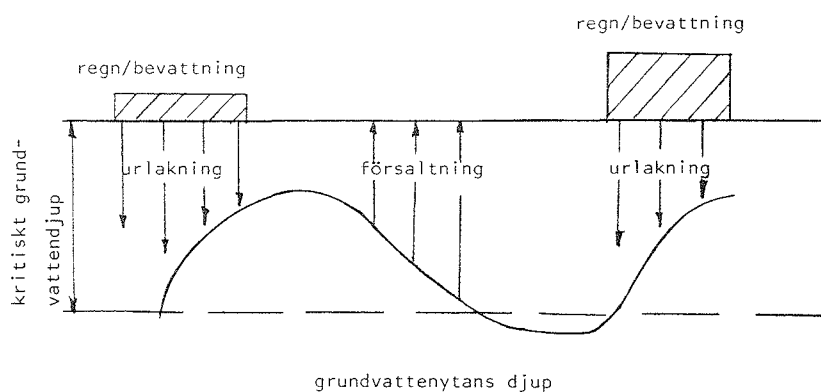
för att en så hög grundvattenyta skall bibehållas att kapillärtransporten inte upphör. Grundvattenpåfyllningen kan ske genom djupt perkolerande bevattnings- och regnvatten eller genom sippring (19).

8.2.2 Påfyllning genom djupt perkolerande regnvatten/bevattningsvatten

Tillförsel av bevattningsvatten eller regnvatten sker intermittent. Det djupperkolerande vattnet har både en grundvattenpåfyllningseffekt och en urlakningseffekt. Den intermittenta tillförseln av vatten innebär dock att grundvattenytans läge kommer att fluktuera eftersom perkolationen tidvis upphör. Grundvattenytan kan därför tidvis vara under D_c (ingen försaltning) eller över D_c (försaltning). Urlakningen sker också i cykler. Salttransportcykeln ligger i fas med urlakningscykeln eftersom ingen kapillär upptransport kan förekomma då vatten tillförs jorden. Först då vattentillförseln upphört och det övre markskiktet torkat upp inleds den kapillära salttransporten. Försaltningen följs således alltid av urlakning (figur 16) (19).

Figuren illustrerar ett kort förlopp, där vatten tillförts jorden endast en gång. Cykeln kan också representera en lång period relaterad till våt- och torrsäsongerna (19).

På lång sikt kan jämvikt mellan urlakning och försaltning inträda. Försaltningsproblemen kan ändå bli betydande inom det aktuella intervallet beroende på att försaltningsperioden kan ha större varaktighet än urlakningsperioden. Ju längre torrperioden varar, desto större blir den kapillära saltansamlingen i evaporations-skiktet. Den mest omfattande försaltningen fås direkt efter en regnperiod då grundvattenytan är hög (19).



Figur 16. Cykliska saltrörelser beroende på grundvattenytans fluktuationer (19).

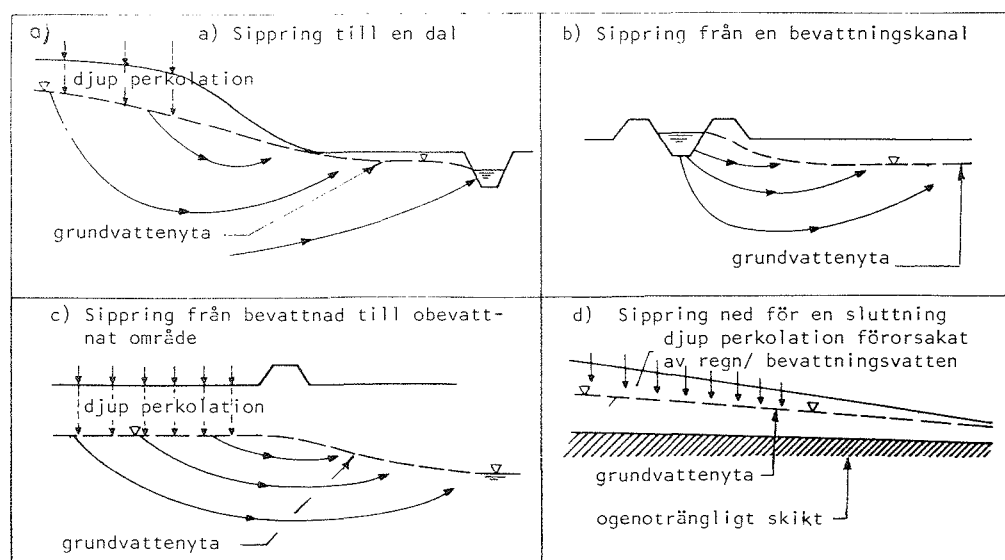
8.2.3 Påfyllning genom sippring

Med sippring menas att grundvattnet inom ett område påfylls av utifrån tillströmmande grundvatten (figur 15).

Sippringsvattnet förorsakar ofta försaltningsproblem därför att (19):

- sippringsvattnet ofta är mycket salt på grund av att det samlar upp salter från jord och berg under sin ofta mycket långa transport till utströmningsområdet,
- grundvattenytan förblir kontinuerligt hög eftersom förluster i form av uppåtgående flöde kompenseras genom inströmmande vatten.

Sippringsvattnets salthalt och tillströmningshastighet varierar med ursprungsförhållandena.



Figur 17. Några typiska sippringssituationer (21).

8.3 Faktorer som påverkar kapillär försaltning

8.3.1 Evaporationens och vegetationens inflytande på den kapillära försaltningen

Stor avdunstning leder till en upptorkning i evaporationens zonen och därmed till korresponderande ökande sugkrafter. Detta innebär att den kapillära upptransporten ökar i det första skedet av upptorkningsförloppet. Efter hand blir fuktighetsinnehållet i evaporationens zonen så litet att evaporationen avtar på grund av den låga

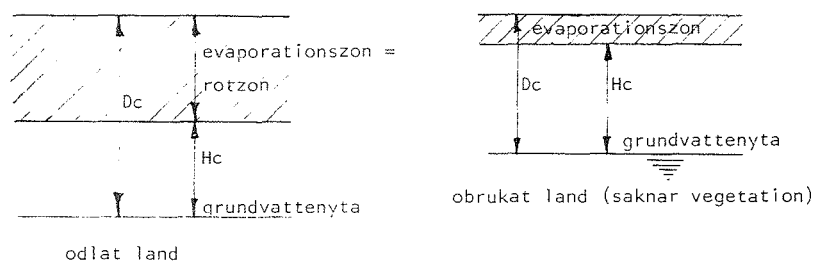
konduktiviteten. Härmed motverkas också kapillärflödet till evaporationsszonen. Då det upptorkade jordlagret vuxit sig tillräckligt tjockt kommer kapillärtransporten helt att avstanna. Det skyddande upptorkade jordlagret kallas på engelska 'mulch layer' (19).

Låg evaporation medför ett svagt utvecklat 'mulch layer', som medger en kontinuerligt pågående evaporation och därmed en uppåtgående kapillär vattentransport under en lång tid. Transporten är långsammare än vid den höga evaporationens initialskede. Salt kan emellertid här transporteras under längre tid och den i evaporationsskiktet ansamlade saltmängden blir därför mycket större än vid hög evaporation (19).

Vegetationsklädd jord har ett evaporationsszonsdjup som ungefär motsvarar djupet av växternas huvudrotzon. En odlad jord ger i allmänhet mindre saltanrikning än en obevuxen (evapoartionszon 15-20 cm). Detta gäller speciellt under arida förhållanden, där det sker en intensiv bevattning av grödorna eller där dessa odlas under regntiden och urlakning härigenom sker genom djup perkolation (19).

Obrukad mark under torra förhållanden får den största kapillära saltanrikningen. Här spelar också ogräsfloran en stor roll. Den motverkar uttorkningen av markytsskiktet och medverkar därigenom till att evaporationen och därmed den kapillära vattentransporten kan fortgå (19).

Av figur 18 framgår av skillnaden i D_c att försaltningen är en större fara i odlad jord. Detta kan vara fallet där nederbörden är låg eller där bevattningen är otillräcklig för att en effektiv urlakning genom djup perkolation skall ske (19).



Figur 18. Variation av kritiskt grundvattendjup med och utan vegetation (19).

9. ALKALISERING

Alkalisering innebär att natrium ersätter andra katjoner på utbyteskomplexet. Natriumjonen måste vara den dominerande lösliga katjonen i marklösningen för att ett mer betydelsefullt utbyte skall ske på utbyteskomplexet (högt SAR-värde). Processen är beroende av tillgången till en saltkälla som är rik på Na^+ eller av en saltlösning där koncentrationen av Na^+ ökar eller av andra anledningar till att Na^+ gynnas i försaltningsprocessen. Marklösningens koncentration av Na^+ ökar relativt sett vid en ökande halt av CO_2^{--} och HCO_2^- . Detta förklaras av att Ca^{++} bildar svårlösliga salter med dessa anjoner och fälls ut. Na^+ får på så sätt en minskad konkurrens vid ockupationen av utbyteskomplexet (19).

Det förekommer natriumjordar som har låg saltkoncentration i marklösningen men hög ansamling av Na^+ på utbyteskomplexet. Dessa jordar, som således har ett högt ESP-värde, har troligtvis utvecklats från salta natriumjordar genom en urlakningsprocess. Den lösliga saltkoncentrationen hos jorden minskar här snabbare än ockupationen av Na^+ på utbyteskomplexet (19).

10. SALTBALANS FÖR BEVATTNAD MARK

Saltbalansen för en rotzon under bevattning illustreras av fig 19 och kan beräknas enligt nedanstående formler (19). Formlerna gäller endast under förutsättning att alla salter är lösliga och inte fälls ut.

$$I \cdot C_i + R \cdot C_r + G \cdot C_g = P \cdot C_p + \Delta S \quad (\text{ekv. 1})$$

I = bevattningsvatten

R = nederbörd

G = kapillärt grundvattenflöde in i rotzonen

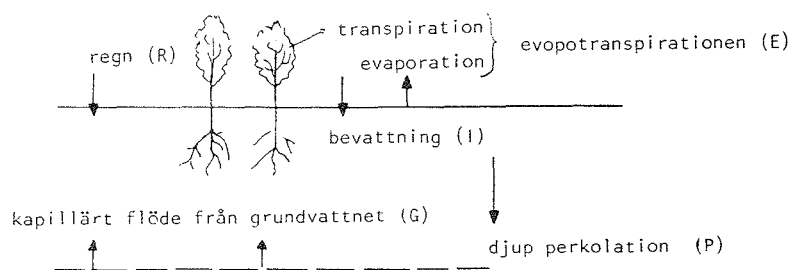
P = djupperkolation från rotzonen

C = vattnets saltkoncentration (i, r, g, p refererar till irrigation (bevattning), rainfall (nederbörd) etc.)

ΔS = förändring av jordens saltinnehåll i rotzonen

Sorter: I, R, G, P = mm/månad, mm/säsong

C = mg L^{-1} , mmhos cm^{-1}



Figur 19. Vattenbalans för bevattnad mark (19).

Då beräkningar göres över tolv månaders perioder kan antagandet $C_g = C_p$ göras. Detta antagande har sämre giltighet för kortare perioder.

C_r -värdet kan försummas om normalt regnvatten tillföres jorden. Regn som faller i närheten av havet kan däremot ha höga EC-värden.

Om $C_g = C_p$, $S = 0$ och C_r försumbar kan ekvation (1) förenklas till

$$I \cdot C_i = (P - G) \cdot C_p = LR \cdot C_p \quad (\text{ekv. 2a})$$

$$I \cdot EC_i = (P - G) EC_p = LR \cdot EC_p \quad (\text{ekv. 2b})$$

C och EC är linjärt relaterade och C i ekvation 2a kan därför uttryckas i EC enligt ekvation 2b. LR = urlakningsbehovet.

Ekvationerna anger hur mycket vatten som måste tillföras för att lika mycket salt skall dräneras bort som tillförs med bevattningsvattnet.

Uttryckt i EC blir:

$$LR = (EC_i/EC_p) \cdot I \quad (\text{ekv. 3})$$

Kvoten EC_i/EC_p anger hur mycket vatten som måste perkolera genom profilen för att saltbalansen skall upprätthållas.

Vid jämvikt gäller följande vattenbalansekvation:

$$I = (E-R) + (P-G) \quad (\text{ekv. 4})$$

E = evaporationen

R = nederbörden

$E-R$ = nederbördsunderskottet, som ofta benämns nettoskördebevattningsbehovet och kan tecknas I_c

$P-G$ = urlakningsbehovet (LR)

Ekvation (4) kan nu skrivas:

$$I = I_c + LR \quad (\text{ekv. 5})$$

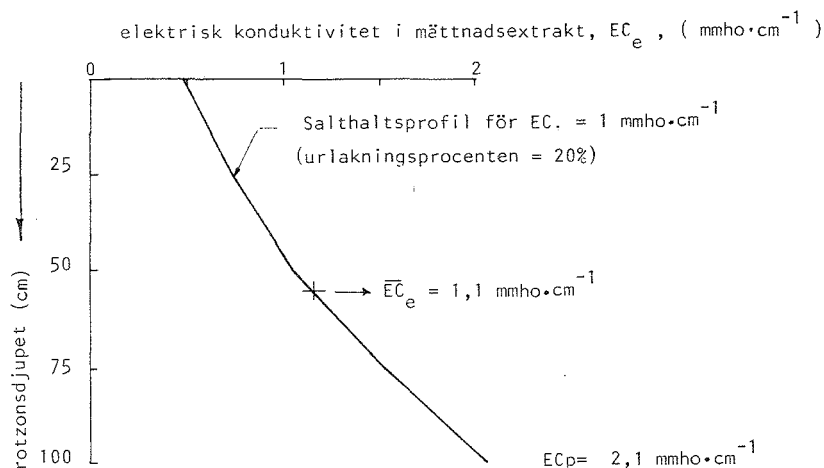
Kombinering av ekvation (4) och (5) ger

$$LR = \frac{EC_i}{EC_p - EC_i} \cdot I_c$$

10.1 Beräkning av urlakningsbehovet

EC_p -värdena sätts vanligen lika med den maximalt tolererbara salthalten i rotzonen, beaktande att (19):

Vid urlakning ökas jordens salthalt med djupet (figur 20). Vid ett djup motsvarande rotzonens naturliga begränsning antas vanligen EC_e -värden motsvarande en skördeavkastningsreduktion på 25-50 % (EC_e 25 % - EC_e 50 %) vara acceptabla. Det vägda EC_e -medelvärde för hela rotzonen kan då uppskattas ligga mellan 0 % och 10 %. Salthalten i den övre delen av rotzonen kan därför närma sig ett EC_e -värde i närheten av 0 %.



Figur 20. Salthaltsprofil i en typisk rotzon (19).

Urlakningseffekterna avtar om vatten perkolerar genom en jord med stora porer och sprickor och ökar om jorden är småporig och då fuktigheten i rotzonen är över fältkapacitet. EC_p -värdet skall representera det genomsnittliga saltvärde som erhålls ur det kombinerade mass- och sprickflödet, som omfattar den totala djupperkolationen. Det är emellertid mycket svårt att praktiskt bestämma ett korrekt EC_p -värde och därför bestämmer man ofta dess storlek för insättning enligt följande (19):

$EC_p = 2EC_e$ 25 % mycket känsliga grödor
 låg urlakningsverkningsgrad
 hög saltkontrollstandard

$EC_p = 2EC_e$ 50 % mera salttoleranta grödor
 hög urlakningsverkningsgrad
 lägre saltkontrollstandard

Saltbalansberäkningar baserade på i detta stycke angivna formler utföres i den separata laborativa delen av denna uppsats (Lab 6).

10.2 Regionala saltbalanser

Den regionala saltbalansen kan tecknas på följande sätt (19):

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{saltinflöde i} \\ \text{en region} \end{array} \right\} - \left\{ \begin{array}{l} \text{saltutflöde} \\ \text{från en region} \end{array} \right\} = \left\{ \begin{array}{l} \text{förändring av salt-} \\ \text{upplagring i jorden} \end{array} \right\}$$

Flödena kan tecknas (19):

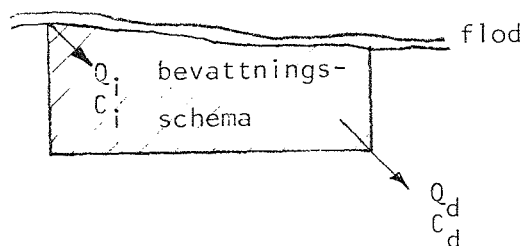
$$\sum Q_i \cdot C_i - \sum Q_d \cdot C_d = \Delta S$$

Q = vattenflödet ($\text{m}^3 \cdot \text{sek}^{-1}$, $\text{mm} \cdot \text{dag}^{-1}$)

C = saltkoncentrationen ($\text{g} \cdot \text{L}^{-1}$, ppm eller $\text{mmhos} \cdot \text{Cm}^{-1}$)

Denna formel gäller endast för likformiga flöden och koncentrationer, som vanligen inträffar endast under kortare tidsavsnitt.

Det är mycket svårt att bestämma storleken av vattenfluktuationerna. Detta gäller speciellt grundvattnet. Därför måste man ofta förlita sig på uppskattningar. Figur 21 illustrerar en enkel regional saltbalans med in- respektive utflöden genom en enda punkt.



Figur 21. Saltbalans för ett bevattningsschema (19).

11. BEVATTNINGSVATTENKVALITET

Ett normalt bevattningsvatten tillför under arida förhållanden mellan 1 och 5 ton salt per ha med en 30 mm bevattningsgiva. Vattenåtgången uppskattas vara 1 000-3 000 mm per ha och år (6). Det är därför lätt att förstå att vatten som planeras att användas som bevattningsvatten alltid först bör analyseras med tanke på försaltnings- och alkaliseringsfaran, giftighet och andra faktorer som begränsar vattnets användbarhet.

Det finns flera olika system för bestämning av bevattningsvattenkvaliteten. Det mest använda systemet (US-systemet) är utvecklat av Förenta Staternas saltlaboratorium. År 1976 presenterade FAO ett system som bygger på nya forskningsresultat och erfarenheter (19).

11.1 Saltrisker

Graden av jordförsaltning bestäms av bevattningsvattnets EC_i -värde (mmhos cm^{-1}). Efter en tids bevattning överensstämmer jordens EC_e -värde med bevattningsvattnets EC_i -värde. Saltriskan kan därför diagnosticeras på basis av EC_i -värdet. Följande relation kan uppställas (19):

$$EC_e \approx \beta EC_i$$

' β ' är en korrektionsfaktor, vars storlek varierar med urlakningsprocenten.

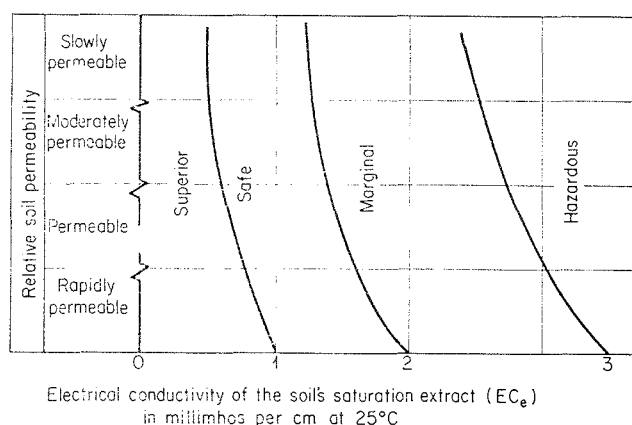
Urlakningsprocent 5-10 %	$\beta = 2,0-2,5$
Urlakningsprocent 15-20 %	$\beta = 1,5$
Urlakningsprocent 25-30 %	$\beta = 1,0$

EC_e -värdet representerar här det vägda genomsnittsvärdet för huvudrotzonen. Hänsyn har även tagits till den normala minskningen av rötternas vattenupptagning med djupet. Minskningen beror på en med djupet avtagande relativ rotmassa. De flesta grödor klarar utan osmotiska problem en saltkoncentration i rotzonen som motsvarar ett EC_e -värde $\leq 2 \text{ mmhos cm}^{-1}$. Vid låg urlakningsprocent (5-10 %) skulle med det förda resonemanget en säker gräns för bevattningsvattnets salthalt vara cirka $1 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$ (19).

Vatten klassificeras av Förenta Staternas saltlaboratorium (20) i fyra kategorier (C_1 - C_4) baserade på elektriska konduktivitetsvärden (figur 23):

- Vattenhalt med liten salthalt ($C_1 = 0,25 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$). Detta vatten kan utan problem användas för bevattning av de flesta grödor och på de flesta jordar.
- Vatten med måttlig salthalt ($C_2 = 0,25\text{-}0,75 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$). Detta vatten kan utan problem användas för växter med en viss salttolerans under förutsättning att urlakningsförhållandena,
- Vatten med stor salthalt ($C_3 = 0,75\text{-}2,25 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$). Här kan vattnet endast användas på jordar med en väl avpassad dränering och till grödor med stor salttolerans och där tillfredsställande arrangemang för saltkontroll föreligger.
- Vatten med mycket stor salthalt ($C_4 = 2,25 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$). Endast salttoleranta grödor under speciella omständigheter kan bevattnas. Den aktuella jorden måste här ha stor permeabilitet och saltkontrollen bör dessutom vara mycket god.

Vattenklassificering kan även baseras på försaltningsrisken i relation till markens permeabilitet. Detta illustreras i fig 22.



Figur 22. Vattenklassificering baserad på försaltningsrisker i förhållande till markens permeabilitet (8).

I FA0-systemet tillämpas något högre gränser än i US-systemet (se tabell 4). FA0-systemet baseras på en bevattningsordning där urlakningen antas vara 15 %, dvs $EC_e \sim 1,5 EC_i$ (19).

Tabell 4. Riktlinjer för bedömning av bevattningsvattnets kvalitet enligt FAO (7).

Hazard	Diagnostic parameter	Criteria		
		No problem	Moderate problem	Severe problem
Salinity	EC-irrigation water (EC_i in $mmhos.cm^{-1}$)	<0.75	0.75–3.0	>3.0
Sodicity	EC-irrigation water (EC_i in $mmhos.cm^{-1}$)	>0.5	0.5–0.2	<0.2
	SAR_i adj (irrigation water)	<6	6–9	>9
	– montmorillonite (2:1 clays)	<8	8–16	>16
	– illite/vermiculite (2:1 clays)	<16	16–24	>24
Toxicity (for sensitive crops only)				
– sodium: SAR_i adj (irrigation water)		<3	3–9	>9
– chloride: Cl concentration irr water ($meq.L^{-1}$)		<4	4–10	>10
– boron: B concentration irr water ($mg.L^{-1}$)		<0.75	0.75–2.0	>2.0

11.2 Natriumrisk

En riskvärdering kan här göras på basis av bevattningsvattnets EC_i - och SAR_i -värde (tabell 4).

EC_i -värdet användes i detta sammanhang för att bedöma risken för oönskad dispergeringseffekter till följd av alltför saltfattigt bevattningsvatten. Den dispergerande effekten uppstår genom att adsorptionskomplexets diffusa dubbelskikt expanderar vid utspädning av marklösningen, varigenom kolloiderna förhindras att koagulera (se avsnitt 5.3) (19).

Alltför stora mängder av semilösliga Ca- och Na-salter kan också förloras genom överurlakning.

Bevattningsvattnets natriumadsorptionsgrad, SAR_i , kan skrivas (19):

$$SAR_i = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

Na^+ , Ca^{++} och Mg^{++} representerar koncentrationen av dessa jonslag i bevattningsvattnet ($mekv.L^{-1}$).

Det finns en nära överensstämmelse mellan SAR_i , SAR_e (marklösningen vid mättnadspunkten) och jordens ESP-värde. SAR_e -värdet och ESP-värdet kan bestämmas genom användning av de samband som tidigare behandlats i avsnitt 3.3 och 11.1 (19).

Följande uppställning kan göras (19):

$$\text{SAR}_e = \beta \cdot \text{SAR}_i$$

Storleken av korrektionsfaktorn β bestäms av urlakningsprocenten (se avsnitt 11.1). Sambandet är i övrigt grundat på Gapons ekvation (se avsnitt 3.3).

Exempel: Bevattningsvatten med $\text{Na}^+ = 40$, $\text{Ca}^{++} = 8$ och $\text{Mg}^{++} = 2$ mekv $\cdot \text{L}^{-1}$, urlakningsprocenten = 15-20 % ($\beta = 1,5$).

$$\text{SAR}_i = \frac{40}{\sqrt{\frac{8+2}{2}}} = 17,9;$$

$$\text{SAR}_e = \sqrt{1,5} \text{ SAR}_i \approx 1,2 \cdot 17,9 = 21,5$$

Då SAR_e -värdet är känt kan korresponderande ESP-värde lätt utläsas i diagram (figur 3 avsnitt 3.3). Det blir i detta fall 23 %. ESP-värdet kan utan större fel bestämmas med hjälp av diagrammet genom att använda bevattningsvattnets SAR_i -värde direkt (19).

Förhållandet mellan SAR- och ESP-värdet kompliceras av semilösligheten av Ca- och Mg-salterna i marken (19).

Vatten som innehåller högre koncentrationer av bikarbonat än av kalcium och magnesium tillsammans är olämpligt för bevattning även om natriuminnehållet håller sig inom tillåtliga gränser. Efter varje bevattning reagerar kalcium och magnesium med bikarbonat, och då jorden torkar fälls de ut som olösliga karbonater. Med mindre kalcium i lösning ökar den relativa koncentrationen av natrium i marklösningen. Natriumförgiftningsrisken ökar, varav följer att infiltrationsgraden avtar, pH-värdet ökar och det organiska materialet i jorden löses. Jorden får den typiska svarta färg som är så karakteristisk för jordar vari denna process pågår (svart alkali) (1).

För att bestämma vattenkvalitén i relation till vattnets karbonat- och bikarbonatinnehåll beräknas natriumkarbonaternas restvärde (RSC = residual soidum carbonate value) enligt följande (4):

$$\text{RSC} = (\text{HCO}_3^- + \text{CO}_3^{--}) - (\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}) \text{ (mekv} \cdot \text{L}^{-1}\text{)}$$

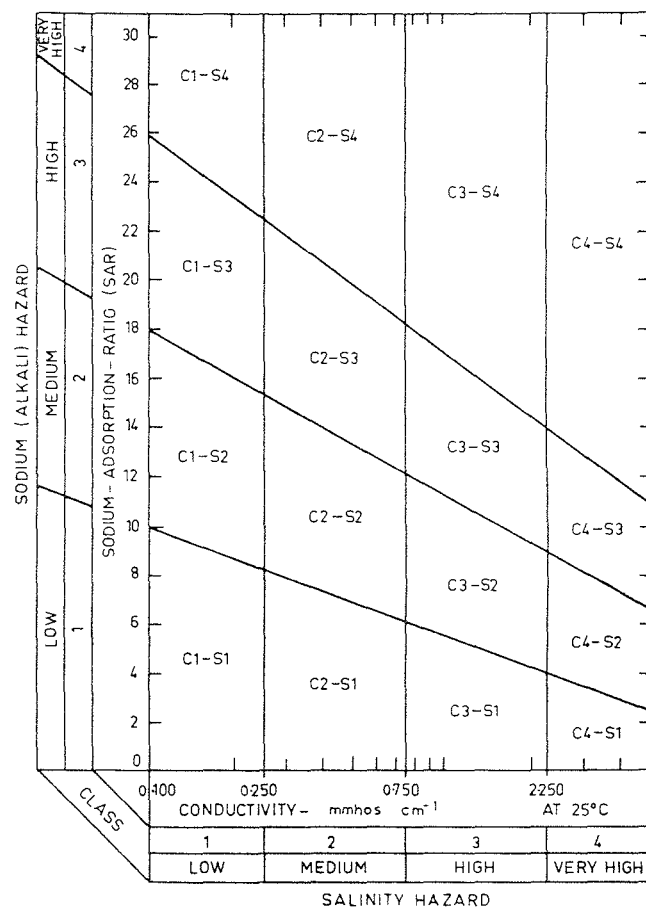
Om RSC är lägre än $1,25 \text{ mekv} \cdot \text{L}^{-1}$ anses vattenkvaliteten vara god. Ligger RSC mellan $1,25$ och $2,5 \text{ mekv} \cdot \text{L}^{-1}$ kan vattnet fortfarande användas för bevattning, men stor försiktighet måste i detta fall iakttas för att undvika försaltning. Vatten med mer än $2,50 \text{ mekv} \cdot \text{L}^{-1}$ är ej lämpligt som bevattningsvatten (19).

I FAO-systemet har SAR_i -värdet korrigerats med hänsyn till RSC-värdet $\text{SAR}_i \text{ adj}$. Förenta Staternas saltlaboratorium använder sig av ett okorrigerat SAR_i -värde. RSC-värdet uppskattas här istället separat (19).

Vatten klassificeras i Förenta Staternas saltlaboratoriums system i fyra klasser (figur 23) (20).

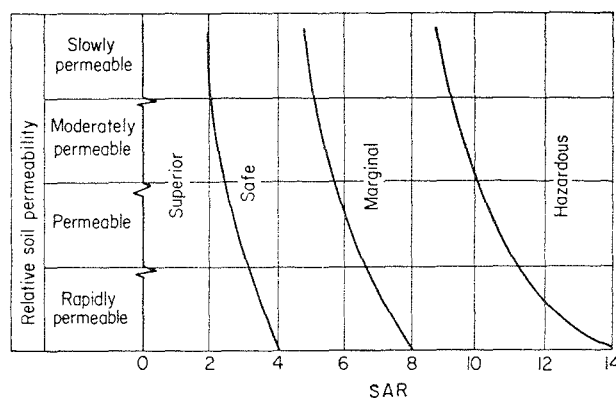
- Vatten med litet natriuminnehåll (S_1) kan användas till de flesta jordar utan nämnvärd försaltningsrisk.
- Vatten med måttlig natriuminnehåll (S_2) förorsakar inga problem om det användes till permeabla jordar med stort sand- eller organiskt materialinnehåll. På fintexturerade jordar med ett litet kalciuminnehåll kan saltproblem uppkomma.
- Vatten med stort natriuminnehåll (S_3) kan förorsaka saltproblem på de flesta jordar. Här måste sådana speciella åtgärder för saltkontroll som regelbunden urlakning, väl avpassad dränering och användandet av organiskt gödsel vidtagas. Om kalktillståndet är gott är risken för en snabb försaltning liten. Det är därför mycket viktigt att om så erfordras regelbundet tillföra jorden gips.
- Vatten med mycket stort natriuminnehåll (S_4) kan endast användas under mycket exceptionella omständigheter för speciella grödor.

Indelningen i ovanstående klasser relateras till SAR_i -värdet, som också varierar med EC_i -värdet. Ju högre EC_i -värdet är, desto lägre blir SAR_i -gränsen för en viss klass (se avsnitt 11.1). Figur 23 illustrerar denna relation.



Figur 23. Diagram för klassificering av bevattningsvatten (20).

Vattenklassificeringen kan även baseras på natriumrisken i förhållande till markens genomsläpplighet (figur 24).



Figur 24. Vattenklassificering baserad på natriumrisken i relation till markens permeabilitet. SAR = natriumadsorptionsgraden (8).

11.3 Speciella toxiska effekter förorsakade av sprinklerbevattning

Sprinklerbevattning (spridarbevattning) kan försaka toxiska problem för vissa växter genom att ett överskott av natrium och klor kan upptagas genom blad som har fuktats. Härigenom förorsakas ofta brännskador. Detta händer speciellt under perioder med hög temperatur och låg fuktighet. På ytor mellan dem som bevattnas avdunstar vatten och anrikas salt. Detta bidrar också till ett för stort upptag av salt genom rötterna på plantor växande på de ytor som undgår bevattningen (15).

Förgiftning sker hos vissa känsliga grödor vid en relativt låg natrium- eller klorkoncentration. Citrusfrukter kan skadas vid så låga nivåer som $3 \text{ mekv} \cdot \text{L}^{-1}$ av antingen natrium eller klor i bevattningsvattnet. De flesta ettåriga grödor är vanligen ej känsliga (15).

Följande åtgärder kan vidtas för att minska skadorna vid bevattning (15):

- Spridarbevattning på natten. Bladens klyvöppningar är oftast stängda vid denna tid på dygnet vilket medför ett minskat upptag av natrium och klor genom bladen.
- Den största saltadsorptionen hos grödan sker vid intermittent bevattning. Det är därför lämpligt att bevattningen får pågå mera kontinuerligt med en lägre rotationshastighet hos spridarnas munstycken (ett varv per minut rekommenderas).
- I områden med stabilt förutsägbart vädermönster och där tillräckliga markvattenförråd finns tillgängliga kan tiden för bevattning anpassas så att kritiska perioder i stor utsträckning undviks.
- Vissa känsliga grödor som bönor och grapefrukt bör ej odlas där spridarbevattning måste användas och vattnet har sämre kvalitet.
- Andra bevattningsmetoder kan alternativt användas, t.ex. fårbevattning eller svämbbevattning. Bevattning med spridare i nivån under plantornas blad kan också tillämpas. Plantornas lågblad vätes dock av sprinklervattnet och kan därför visa symptom på adsorptions-skador. Droppbevattning medelst perforerade slangar eller rör är ett annat bra alternativ till ovanstående metoder, eftersom vätning av bladen därvid undviks.

11.4 Bevattning med avloppsvatten

Avloppsvatten har i varmare länder länge använts för bevattning. Användningen tenderar att öka och då speciellt inom områden som har brist på vatten. Avloppsvatten är en mycket användbar tillgång om tillräcklig försiktighet iakttages (15).

Salter, näringsämnen och spårelement kan ackumuleras i för höga koncentrationer vid längre tids användning. För att minska dessa risker fordras att avloppsvattnet renas. Vanligen sker reningen i två steg. Det första steget innebär en separation av fasta partiklar från vätskan. Det andra steget omfattar ytterligare en separation, inkluderande genomluftning och desinfektion (15).

Det är fördelaktigt att blanda avloppsvatten med vanligt vatten, eftersom förgiftningsrisken därigenom minskar. Användning av avloppsvatten medför emellertid alltid vissa risker för folkhälsan. Hanteringen är dessutom mera omständlig än för normalt bevattningsvatten.

Några av de problem som är förknippade med användning av avloppsvatten berörs nedan (15).

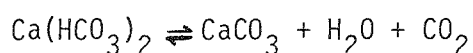
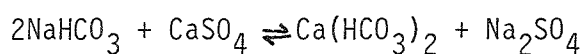
- Om vattnet ej är tillräckligt renat kan fasta partiklar täppa igen porer i odlingsjorden med dålig genomsläpplighet och genomluftning som följd.
- Lukt kan uppträda om jorden skulle vara så dåligt genomluftad att en anaerob mikrobiell nedbrytning uppstår.
- Industriella biprodukter kan följa med vattnet och förgiftningsrisken ökar. Koppar-, zink-, kadmium- och borinnehållet kan ofta vara för stort. Andra kemiska beståndsdelar av betydelse i detta sammanhang kan vara arsenik, krom, mangan och kvicksilver.
- Bakterier, virus och andra sjukdomsframkallande organismer kan också ställa till problem vid användandet av avloppsvatten.

11.5 Förbättring av vattenkvalitén

Skadliga joner (t.ex. bikarbonat och karbonat) i bevattningsvattnet kan med kemikalier fällas ut till olösliga salter. Kemikalier kan också tillsättas för att få ett fördelaktigt (Ca:Mg:Na)-förhållande. För stora bevattningsprojekt finns det emellertid idag inga andra

möjligheter att reducera den totala saltkoncentrationen än att späda ut det aktuella vattnet med annat vatten av god kvalitet. Föreligger överskott av natrium eller bikarbonat i vattnet kan en förbättring erhållas genom tillsättning av en billig kalk. Ett natriumöverskott i förhållande till kalcium kan förorsakas av jonen själv men också genom närvaron av stora mängder bikarbonat eller av en ofördelatlig Mg:Ca-kvot (15).

Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) har låg löslighet (0,25 %-0,3 %) och är dessutom billigt. Det är därför mycket användbart till att förbättra Ca:Na- eller Ca:Mg-kvoten i bevattningsvatten. Förbättringen beror på en ökad kalciumjonkoncentration i vattnet, som resulterar i en minskad Mg:Ca-kvot, en ökad Ca:Na-kvot samt utfällning av överskotts-karbonatjoner i vattnet (15).



Gips förbättrar både bevattningsvatten med dålig kvalitet och alkalijordar (se avsnitt 12.2). Det kan därför appliceras både i vattnet och i marken. Om jorden är i god kondition och bevattningsvattnet är dåligt bör enbart vattnet tillsättas gips (15).

12. MARKVÄRDANDE ÅTGÄRDER

För att bringa en salt- eller alkalijord i gott skick fordras en säker bedömning av jordens tillstånd. Följande förhållanden är viktiga att bestämma (15):

- jordens art, dvs om den är salt, alkalisk eller salt-alkalisk
- graden av salthet eller alakalitet hos jorden
- kvalitén hos det bevattningsvatten som kan användas för att urlaka salter och reaktionsprodukter
- markens dräneringsegenskaper
- markens topografi
- närvaro av täta lager av kalksten eller lera i jorden.

Temporär förbättring av jorden kan uppnås genom (15):

- avlägsnande av saltskorpan från markytan
- djup nedplöjning i jorden av saltskorpan
- neutralisering av effekten av vissa salter genom tillsättning av andra salter.

Permanent förbättring kan åstadkommas genom (15):

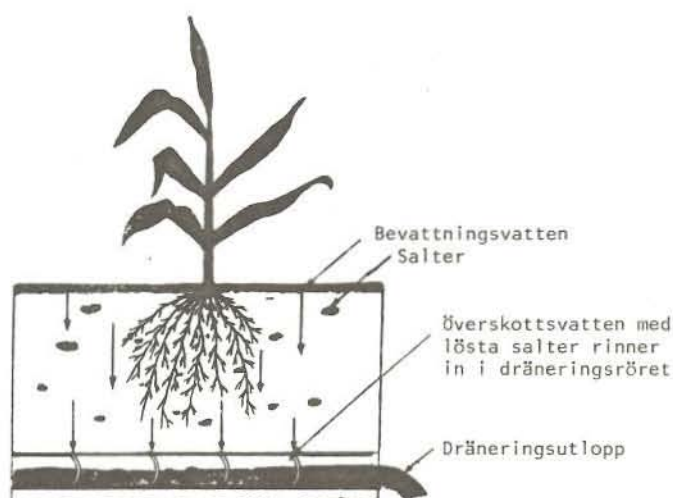
- sänkning av grundvattenytan om den är för hög
- förbättring av markens infiltrationsförmåga
- urlakning av salter och anläggning av en lämplig markdränering
- utbytande av överskottet av utbytbara Na- med Ca-salter och avlägsnande av de utbytta produkterna.
- tillämpande av lämpliga bruksmetoder.

12.1 Förbättring av saltjordar

En effektiv markdränering är nödvändig för att man genom bevattning eller överflödning av jorden skall kunna avlägsna saltet i det övre jordlagret (15).

Överflödningsmetoden (översvämningssmetoden) är den enklaste metoden för urlakning av salt och innebär att det aktuella fältet byggs runt med en fördämning varefter vatten avledes till fältet från något vattendrag. Det infiltrerande vattnet transporterar salterna i

de övre marklagren ned till en nivå under grödans rotsystem, varefter de bortföres med dräneringsvattnet (figur 25) (15).



Figur 25. Schematisk illustration av dräneringssystemets roll vid kontrollerad vattenöversvämning och saltackumulering (15).

Mängden vatten som erfordras för urlakningen anpassas efter hur mycket salthalten skall minskas och till vilket djup som urlakningen skall ske. Effekten av vattentillförseln blir större ju mindre salt jorden innehåller. En god vattenkvalitet är mycket väsentlig för ett bra resultat. Resultatet varierar också med jordarten. Urlakningshastigheten är högst i början av bevattningen, för att sedan avtaga successivt (15).

I lätta jordar erhålles en högre infiltrationshastighet och därmed effektivare urlakning än i styvare.

12.2 Förbättring av alkalijordar

Alkalijordar har en mycket låg genomsläpplighet och är därför mycket svårare att förbättra än saltjordar. Utbytbart natrium måste dessutom ersättas med kalcium. Urlakningen av det utbytta natriumet måste ske till djupare lager i jorden. Kalciumklorid, magnesiumsalter och gips

kan ersätta det utbytbara natriumet. Gips är emellertid det enda realistiska användbara alternativet med tanke på kostnaderna och den låga lösligheten (15).

Många arida jordar är rika på gips. Gipsförekomsten kan uppgå till flera procent och härrör dels från de sedimentära avlagringar som är jordens ursprung och dels från utfällningar av kalcium och sulfat under en försaltningsprocess (20).

Vid urlakning påträffas gips ofta på större djup i det första fallet och närmare markytan i det senare fallet (20).

Då åtgärder planeras för att förbättra en alkalisk jord måste jordens gipsinnehåll bestämmas. Andelen gips i jorden bestämmer om kemiska förbättringsmedel behöver tillsättas eller ej. Närvaron av stora mängder gips i jorden tillåter användning av bevattningsvatten som har ett ofördelaktigt högt natriuminnehåll (20).

En exakt bestämningen av gipsinnehållet i en jord är svår att utföra på grund av de naturliga felaktigheter som uppkommer vid urlakningen med vatten. Den mängd kalcium och sulfat som frigöres ur en gipsjord kan påverkas av bland annat följande tre faktorer (20):

1. Utlösning av kalcium från andra källor är gips.
2. Utbytesreaktioner där lösligt kalcium ersätter andra katjoner, sådana som natrium och magnesium.
3. Utlösning av sulfat från andra källor än gips.

I alkalijordar som innehåller mycket kalk kan en jordförbättring uppnås genom att man låter kalciumkarbonatet reagera med ett acidifierande material. Acidifierande material är (15):

- svavel
- svavelsyra
- järnsulfat
- aluminiumsulfat
- svavelkalk.

Följande faktorer avgör vilket acidifierande material som bör användas (15):

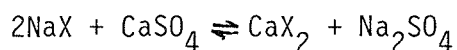
- pH-värdet
- föreliggande mängd kalk eller magnesium

- kostnaden i förhållande till förväntad vinst eller skörd
- reaktionshastigheten
- marktillståndet
- kvalitén hos tillgängligt vatten.

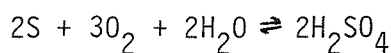
Svavel måste oxideras mikrobiellt innan det kan fungera som förbättringsmedel och reagerar därför långsamt. De övriga acidifierande materialen har snabb reaktion (15).

Förbättrarna reagerar med alkalijordarna enligt nedanstående formler, där 'X' är jordutbyteskomplexet (15):

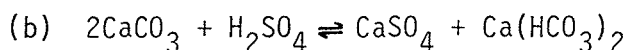
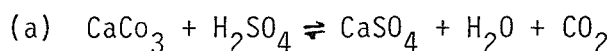
1. Gips



2. Svavel



3. Svavelsyra



Reaktion 3(b) ger två ekvivalenter lösligt Ca för varje ekvivalent syra. I praktiken kan endast 1 1/2 ekvivalent Ca förväntas frigöras vid tillsats av syra. Fritt Ca ersätter utbytbart natrium i alkalijorden. Mängden förbättringsmedel som skall tillsättas bestäms av den mängd utbytbart natrium som finns på kolloidens yta. Beräkning kan göras på basis av den ekvivalenta mängd natrium som skall ersättas av kalcium. Resultatet av en sådan beräkning visar att 4,1 ton gips och 0,78 ton svavel per hektar och 30 cm djup erfordras för att varje milliekvivalent natrium skall ersättas av kalcium. Tabell 5 anger vikten av förbättringsmedel ekvivalent med 1 ton svavel. För en salt-alkalisk jord bestäms gipsbehovet efter det att de lösliga salterna har avlägsnats, eftersom det närvarande saltet hindrar en korrekt bestämning av kalcium (15).

Tabell 5. Vikt av förbättringsmedel ekvivalent med 1 ton svavel (20).

Förbättringsmedel	Ton ekvivalent med 1 ton svavel
Svavel	1,00
Svavelkalk	4,17
Svavelsyra	3,06
Gips ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$)	8,69
Aluminiumsulfat $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	6,94
Kalksten (CaCO_3)	3,13

Alkalijordar som är mycket dispergerade är fattiga på organisk substans. Gröngödsling eller på annat sätt tillfört av organiskt material verkar förbättrande. I Indien används bland annat växten dhaincha (*Serbania aculeata*) för gröngödsling. Denna växt har följande mycket goda egenskaper (15):

- Den är tolerant mot salt och mot vattenöversvämningar.
- Den har ett utbrett rotsystem som penetrerar kompakta jordar och förbättrar markens permeabilitet.
- Den brytes snabbt ned och frigör därvid stora mängder sur cellsaft som verkar neutraliserande för alkalijordar (15).

12.3 Förbättring av salt-alkaliska jordar

Överskottet av salter i salt-alkaliska jordar bör först urlakas ned till ett EC-värde av $6-8 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$ innan resterande utbytbart natrium avlägsnas med gips. Viktiga faktorer i detta sammanhang är att bryta upp täta kalklager i jorden och utföra en väl fungerande markdränering (15).

13. ODLINGSÅTGÄRDER

13.1 Utsädets placering

Vid odling på salta jordar eller då salt bevattningsvatten användes måste beredningen av såbädden och utsädets placering ägnas extra stor omsorg om man skall erhålla en tillfredsställande skörd.

Figurerna a-f visar några olika typer av såbäddar och effekten av utsädets placering vid odling av en fårbevattnad gröda (15).

Enligt figur 26a, som visar en enkelradsbädd, kommer utsädet att hamna mitt i det ackumulerade saltet.

Dubbelradsbädden enligt fig. 26c är, som framgår av bilden, att föredraga, eftersom plantorna då kan växa upp vid sidan av det område där saltanrikningen är som störst. Den här metoden medger ett saltare bevattningsvatten och en högre salthalt i jorden, eftersom vattnet transporterar saltet förbi utsädet eller plantregionen till mitten av såbädden.

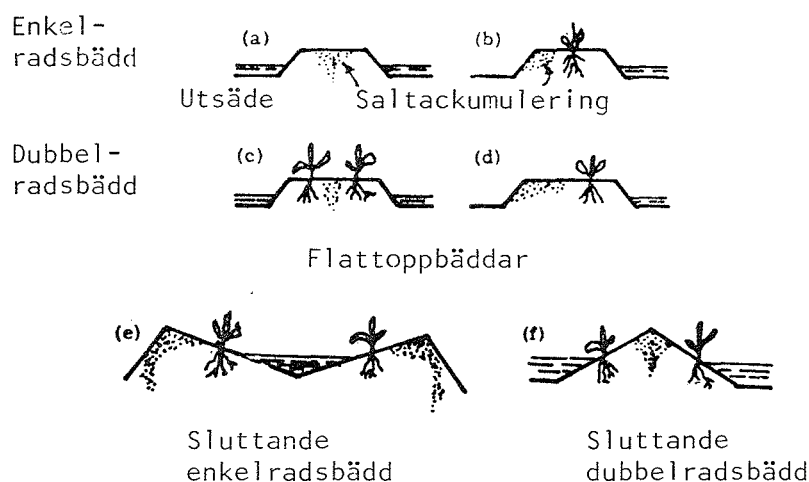
Bevattningspå ena sidan av bädden är att föredraga. Om bädden blötes från fårorna på ömse sidor erhålles, såsom fig. 26a visar, en ansamling av saltet i mitten och i toppen av bädden, medan fårbevattning som utföres endast på ena sidan av bädden medger att salt kan transporteras med bevattningsvattnet bakom den enkla såraden (fig. 26b).

Sådd utanför mitten av bädden närmast den bevattnade fåran tillåter groning under salta förhållanden (fig. 26e).

Både vid enkel- och dubbelradssådd kan en förbättrad groning erhållas om vattendjupet i fåran ökas (fig. 26c och 26f). En bättre saltkontroll kan erhållas om lutande bäddar användes och utsädet sås på den lutande sidan strax ovanför vattenlinjen (figur 26e).

Grödor av storvuxna växter, sådana som majs, sås i vattenfåran för att säkra en effektiv saltkontroll under groningen. Vindruvor sås också ibland på liknande sätt, dvs i vattenfåran, när dåligt bevattningsvatten måste användas (15).

Saltproblemen kan förvärras i de fall perenna grödor, som trädgrödor och citrus, planterats på upphöjda bäddar och ytor bevattnade med bevattningsvatten av dålig kvalitet. Salt ansamlas fortlöpande i den upphöjda bädden till så hög koncentration att grödans toleransnivå överskrides (15).



Figur 26. Betydelsen av utsädetts placering för groningen av fårbevattnade grödor på saltjordar eller när bevattningsvatten av dålig kvalitet användes (15).

13.2 Användning av handelsgödsel

Salt- och alkalijordar är i regel fattiga på näringsämnen och då speciellt på kväve och ibland fosfor (15).

Vid tillförsel av fosfor och pottaska upp till måttlig grad av sätta eller alkalitet, fås ingen skördestegrande effekt om inte kväve är närvarande. Urea bör ej användas, eftersom kväve förloras i gasform under salt-alkaliska förhållanden (15).

Gödningens inverkan på jordar som bevattnas med saltvatten och på saltskadade jordar bestäms till stor del av den växelverkande effekten av salter, utbytbart natrium och gödningsämnen. De viktigaste faktorerna är typ och grad av sätta och alkalitet, näringsämnesbehov och salttolerans hos grödan samt kemisk reaktivitet och löslighet hos det tillsatta gödningsmedlet (15).

14. METODER FÖR BESTÄMNING AV SALT I MARK OCH VATTEN

Laboratorieexperiment med salt och alkalijordar.

Laboration 1, 3, 4, 5 är hämtade ur Schafstad, E. & Visscher, Chr. 1981. Laboratory experiments with saline and alkali soils (17).

Teorin för fällningstitrering enligt Mohr (laboration 3) finns presenterad i Hägg, G. 1969, Kemisk reaktionslära (13) sid 165-167. Laboration 2 är hämtad ur Schafstad, E. & Visscher, Chr. 1981. Study Chacupe (leaching) (18) sid. 3, 9, 10.

Underlaget för laboration 6 är hämtat ur Smedema, L.K. & Rycroft, D.W. 1983. Land Drainage (19) sid. 272, 273.

Lab. 1. Utflockningshastighet hos jordar med varierande ESP

Denna laboration bygger på den teori som finns presenterad i avsnitt 5.3 (strukturproblem) och 5.3.4 (utflockning), s. 18-20 i uppsatsens separata teoridel. Läs dessa avsnitt före laborationens genomförande.

Material:

Blandningar av Ca-lera och Na-lera. Lerorna görs i ordning var för sig genom att 100 g jord köres i en skakapparat under cirka 20 minuter med 300 ml CaCl_2 1,0 N respektive 300 ml NaCl 1,0 N och därefter låtes sedimentera. Den klara lösningen ovan sedimentet dekanteras och kastas. Proceduren upprepas tre gånger varefter jordarna under tillsättning av cirka 300 ml enkeldestillerat vatten avsuges i en vattensug. Denna genomsköljning av jorden görs för att om möjligt avlägsna alla Cl^- -joner. Torkning av jordarna sker i ett värmeskåp i en temperatur av $+105^\circ\text{C}$. Den torkade jorden skall vara fri från klumpar och helst mycket finfördelad, varför den lämpligen krossas med en mortel och därefter siktas i en sikt med en maskstorlek av 2 mm. Jordproven blandas nu till enligt följande uppställning:

- | | | | | | | |
|----|---------------|------------------------|---|----------|---------|---------------------|
| 1. | 4,95 g (99 %) | Ca^{++} -lera | + | 0,05 g | (1 %) | Na^+ -lera |
| 2. | 4,85 g (97 %) | " | " | + 0,15 g | (3 %) | " " |
| 3. | 4,75 g (95 %) | " | " | + 0,25 g | (5 %) | " " |
| 4. | 4,5 g (90 %) | " | " | + 0,5 g | (10 %) | " " |
| 5. | 4,25 g (85 %) | " | " | + 0,75 g | (15 %) | " " |
| 6. | 3,5 g (70 %) | " | " | + 1,5 g | (30 %) | " " |
| 7. | 1,5 g (30 %) | " | " | + 3,5 g | (70 %) | " " |
| 8. | 0 g (0 %) | " | " | + 5,0 g | (100 %) | " " |

Ovanstående blandningar utföres två gånger, dvs 8 prov erfordras för vardera a och b enligt nedan.

Utförande:

- a) Jordproven enligt ovanstående uppställning hälls i var sitt väl märkt 50 ml provrör eller i ett mätglas. 30 ml vatten och en droppe 10 % HCl-lösning tillsättes därefter till varje prov. Rören eller mätglasen proppas och omskakas och låtes sedan stå. Jämför sedimenteringshastigheten i de olika proven.
- b) Jordproven hälls i var sitt tydligt märkt 50 ml provrör eller i ett mätglas. Tillsätt 30 ml $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ -lösning som innehåller tillräckligt med Ca^{++} för att sänka adsorberat Na^+ med 40 %. Rören eller mätglasen proppas och omskakas och låtes sedan stå.

Jämför sedimenteringshastigheten i de två olika rören och jämför även a med b.

Beräkningar och anmärkningar:

Beredning av 300 ml CaCl_2 (1,0 N):

$$\begin{array}{rcl} \text{Molvikt: } \text{Ca}^{++} & & 40,08 \\ " & \text{Cl}_2 & 35,45 \cdot 2 = \underline{70,90} \\ & & 110,98 \text{ g/l} \end{array}$$

$$\text{Ca}^{++} \quad 1,0 \text{ N} = 1/2 \text{ molar}$$

$$1/2 \text{ mol} = \frac{110,98}{2} = \underline{55,49 \text{ g/l}} \text{ lösning.}$$

1 l CaCl_2 -lösning beredes (åtgång $3 \cdot 300 = 900 \text{ ml}$).

Beredning av 300 ml NaCl (1,0 N):

$$\begin{array}{rcl} \text{Molvikt: } \text{Na}^+ & & 22,99 \\ & \text{Cl}^- & \underline{35,45} \\ & & 58,44 \text{ g/l} \end{array}$$

$$\text{Na}^+ = 1,0 \text{ N} = 1 \text{ molar} \text{ dvs. } 58,44 \text{ g/l.}$$

1 l NaCl-lösning beredes (åtgång $3 \cdot 300 = 900 \text{ ml}$).

Beredning av 10 % HCl-lösning

30 ml HCl-lösning beredes. Använd syra är 37-procentig.

$$0,37 \quad X = 0,10 \cdot 30$$

$$X = 8,108 \text{ ml}$$

8,11 ml 37 % HCl åtgår för beredning av 30 ml 10 % HCl.

Späd alltså 21,89 ml H_2O ($30 - 8,11$) med 8,11 ml 37 % HCl.

a) Vid utförandet av denna laboration använde jag en jord som har katjonbyteskapaciteten 15 mekv/100 g. De olika jordblandningarna är mättade till X % av CEC med Ca^{++} och till Y % med Na^+ .

En droppe HCl tillsättes för att förse lösningen med elektolyt.

b) Mängd $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ som behövs tillsättas för att sänka halten av adsorberat Na^+ med 40 % beräknas på följande sätt:

$$\text{CEC} = 15 \text{ mekv/100g} \quad 5 \text{ g jord innehåller alltså } \frac{15 \cdot 5}{100} = 0,75 \text{ mekv adsorberade katjoner.}$$

$$\frac{40 \cdot 0,75}{100} = 0,3 \text{ mekv } \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} \text{ vara närvarande i den tillsatta lösningen.}$$

$$\begin{array}{rcl} \text{Molvikt: Ca} & = & 40,08 \\ \text{S} & = & 32,06 \\ \text{O(6)} & = & 96,00 \\ \text{H(4)} & = & \underline{4,03} \\ & & 172,17 \end{array}$$

$$0,3 \text{ mekv} = 0,0003 \text{ ekv/5 g}$$

$$1,0 \text{ N } \text{Ca}^{++} = 1/2 \text{ molar}$$

Av ovanstående följer att $\frac{0,0003}{2} = 0,00015 \text{ mol } \text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ måste tillsättas. Denna mängd motsvarar $0,00015 \cdot 172,17 = 0,0258 \text{ g/5 g}$.

Totalt erforderlig mängd för alla proven = $0,0258 \cdot 8 = 0,2064 \text{ g}$. Denna mängd löses i 240 ml (30 · 8) enkeldestillerat vatten.

Resultat som kan förväntas med kommentarer:Försök a

Sedimenteringen sker snabbast i rör 1. Därefter följer rör 2, 3, 4, 5, 6, 7 och 8 i nämnd ordning. Detta förhållande förklaras av den divalenta Ca^{++} -jonens utflockande verkan. En ökad andel Na^{+} -joner medför en tilltagande dispersion.

Försök b

Vid tillsats av $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ökar andelen Ca^{++} -joner bundna till kolloidens yta. I detta fall ersättes 40 % av alla Na^{+} -joner med Ca^{++} -joner och detta innebär att kolloiderna i rör nr 1 t.o.m. 6 bör vara Ca^{++} -mättade. Resultatet borde därför bli att dessa rör sedimenterar först och då lika snabbt, medan därefter rör nr 7 och 8 sedimenterar i nämnd ordningsföljd. Detta blev emellertid inte fallet då jag utförde denna laboration. Sedimenteringen skedde snabbare i rör nr 5, 6, 7 och 8 än i rör nr 1, 2, 3 och 4. En möjlig förklaring till detta resultat kan vara en för hög och varierande jonkoncentration i proven, vilken medfört en störning genom att det diffusa dubbelskiktet komprimerats. Anledningen till den höga jonkoncentrationen kan vara dels att genomsköljningen av jorden med enkeldestillerat vatten delvis misslyckades på grund av igenslamning, dels att det enkeldestillerade vattnet från början innehöll för många joner.

Lab. 2. Gipsbehov

Om jorden är natriumförsaltad kan en förbättring åstadkommas genom att man tillsätter gips, $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Vi skall i denna laboration genom beräkningar försöka uppskatta om gips kan förbättra situationen hos en saltjord med värden enligt tab. 1. Kalk- eller gipsbehovet beräknas ned till trettio centimeters profildjup. (I uppsatsens teoridel avsnitt 11.5, 12.2 och 12.3, s. 51, 54-57 kan läsas om gipsens användning och reaktioner).

Tabell 1.

Djup cm	Es mekv/ 100 g	CEC mekv/ 100 g	ESP g/100 g	CaCO_3 g/100 g	gips g/100 g	BD
0 - 10	12	28	43	4,3	0,5	1,42
10 - 20	12	28	43	5,0	0,4	1,47
20 - 30	15	30	50	5,4	0,4	1,58

ES = utbytbart natrium

CEC = katjonbyteskapacitet

BD = uppskattad skrymdensitet

Följande beräkningar utföres:

1) Kalcium- eller gipsbehovet (R) uttryckt i mekv/100 g:

$$R = \frac{\text{ESP}_i - \text{ESP}_f}{100} \cdot \text{CEC}$$

ESP_i = initial utbytbar natriumprocent

ESP_f = slutlig eller säker natriumprocent (är vanligen 15, men antages här vara 5 på grund av ett högt lerinnehåll i det övre markskiktet).

2) Kalciumbehovet (RCa) uttryckt i ton Ca/ha 10 cm

$$\text{RCa} = R \cdot 0,2 \cdot \text{BD}$$

BD = skrymdensitet (g/cm^3)

0,2 = ekvivalentvikt för kalk (Ca^{++})

3) Gipsbehovet (R gips) uttryckt i ton gips/ha 10 cm

$$R \text{ gips} = R \cdot 0,86 \cdot BD$$

$$0,86 = \text{ekvivalent för gips } (\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O})$$

4) Beräkna den tillgängliga mängden gips och karbonater i jorden uttryckt i Ca-ekvivalenter i ton/ha 10 cm. Ekvivalentvikten för $\text{CaCO}_3 = 50$ och för $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O} = 86$.

5) Mängden kalk som tillförs med bevattningsvatten kan uppskattas grovt. EC-värdet 0,6 mmho motsvarar approximativt 6 mekv Ca^{++}/l . Om det antages att vattnet innehåller huvudsakligen Ca^{++} - och Na^{+} -joner så fås följande relationer:

$$\text{Ca} + \text{Na} = 6 \text{ mekv/l}$$

$$\frac{\text{Na}^{+}}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++}}{2}}} = 2$$

Lös de två ekvationerna för Ca^{++} . Omvandling i ton Ca/1 000 m³ vatten och uppgift om mängden tillfört bevattningsvatten ger mängden kalcium per ha.

6) Då en jord bevattnas och därmed urlakas under en längre tid uppnås en jämviktssituation för marklösningens SAR-värde (natrium-adsorptionsgrad). Beräkna detta jämviktsvärde. Hänsyn måste tagas till att bevattningsvattnet är koncentrerat 4 ggr i förhållande till evaporationen. Följande formel gäller.

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}^{+}}{\sqrt{\text{Ca}^{++} + \text{Mg}^{++}}}$$

Frågor:

a) Är gipstillförsel nödvändig?

b) Är SAR-värdet enligt uppgift 6 acceptabelt?

Beräkningar:

$$1) \quad R = \frac{ESP_i - ESP_f}{100} \text{ CEC}$$

Tabell 2.

	ES	ESP*	CEC
0-10 cm	12	43	28
10-20 cm	12	43	28
20-30 cm	15	50	30

$$* ESP = \frac{ES \cdot 100}{CEC} \text{ dvs } \frac{12 \cdot 100}{28} = 43$$

$$* ESP = \frac{ES \cdot 100}{CEC} \text{ dvs } \frac{15 \cdot 100}{30} = 50$$

$$0-10 \text{ cm } R = \frac{43 - 5}{100} \cdot 28 = 10,6 \text{ mekv/100 g}$$

$$10-20 \text{ cm } R = \frac{43 - 5}{100} \cdot 28 = 10,6 \text{ mekv/100 g}$$

$$20-30 \text{ cm } R = \frac{50 - 5}{100} \cdot 30 = 13,5 \text{ mekv/100 g}$$

$$2) \text{ RCa} = R \cdot 0,2 \cdot \text{BD ton Ca/ha}$$

$$0-10 \text{ cm } 10,6 \cdot 0,2 \cdot 1,42 = 3,0$$

$$10-20 \text{ cm } 10,6 \cdot 0,2 \cdot 1,47 = 3,1$$

$$20-30 \text{ cm } 13,5 \cdot 0,2 \cdot 1,52 = 4,1$$

$$10,2 \text{ ton Ca/ha}$$

$$3) \text{ R gips} = R \cdot 0,86 \cdot \text{BD ton Ca/ha.}$$

$$0-10 \text{ cm } = 10,6 \cdot 0,86 \cdot 1,42 = 12,9$$

$$10-20 \text{ cm } = 10,6 \cdot 0,86 \cdot 1,47 = 13,4$$

$$20-30 \text{ cm } = 13,5 \cdot 0,86 \cdot 1,52 = 17,6$$

$$43,9 \text{ ton gips}$$

4)

	CaCO_3 g/100 g	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ g/100 g	BD
0-10 cm	4,3	0,5	1,42
10-20 cm	5,0	0,4	1,47
20-30 cm	5,4	0,4	1,52

	CaCO_3 (ton/ha)	Ca^{++} -ekvivalenter (ton/ha)
0-10 cm	$4,3 \cdot 10 \cdot 1,42 = 61,06$	$\frac{20}{50} \cdot 61,06 = 24,42$
10-20 cm	$5,0 \cdot 10 \cdot 1,47 = 73,5$	$\frac{20}{50} \cdot 73,5 = 29,4$
20-30 cm	$5,4 \cdot 10 \cdot 1,52 = 82,08$	$\frac{20}{50} \cdot 82,08 = 32,83$
		86,6 ton/ha

	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (ton/ha)	Ca^{++} -ekvivalenter (ton/ha)
0-10 cm	$0,5 \cdot 10 \cdot 1,42 = 7,1$	$\frac{20}{86} \cdot 7,1 = 1,7$
10-20 cm	$0,4 \cdot 10 \cdot 1,47 = 5,88$	$\frac{20}{86} \cdot 5,88 = 1,37$
20-30 cm	$0,4 \cdot 10 \cdot 1,52 = 6,08$	$\frac{20}{86} \cdot 6,08 = 1,41$
		4,5 ton/ha

* ekvivalent (Ca^{++})
 ekvivalentvikt (CaCO_3) resp $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$

5) Beräkning av mängd Ca^{++} som tillförts med bevattningsvattnet.

$$\text{Ca}^{++} + \text{Na}^+ = \text{mekv/l} \quad \text{Na}^+ = 6 - \text{Ca}^{++}$$

$$\frac{\text{Na}^+}{\sqrt{\frac{\text{Ca}^{++}}{2}}} = 2$$

$$\text{Na}^+ = 2 \sqrt{\frac{\text{Ca}^{++}}{2}}$$

$$6 - Ca^{++} = 2 \cdot \frac{Ca^{++}}{2}$$

$$36 - 12a + Ca^{++} = 2Ca^{++}$$

$$Ca^{++} - 14a + 36 = 0$$

$$Ca^{++} = \frac{14}{2} \pm \sqrt{49-36}$$

$$Ca^{++} = 7 \pm 3,6$$

$$Ca^{++} = 7 - 3,6 = 3,4 \text{ mekv/l}$$

Mängden Ca^{++} ingående i 1 000 m³ vatten är:

$$\begin{array}{ccc} 1\,000 & \cdot & 1\,000 \cdot 3,4 \cdot 20 \cdot 10^{-3} = 68\,000 \text{ g} = 68 \text{ kg/m}^3 \\ (m^3) & (l) & (g/l) \end{array}$$

6) SAR-värde vid jämviktstillstånd:

$$SAR = \frac{Na^+}{\sqrt{\frac{Ca^{++} + Mg^{++}}{2}}}$$

$$\text{Mängd Na} = 6 - Ca = 6 - 3,4 = 2,6$$

$$SAR = \frac{4 \cdot 2,6}{\sqrt{\frac{4 \cdot 3,4}{2}}} = 3,98 \approx 4$$

Resultat (svar på fråga a och b):

a) Den befintliga mängden Ca^{++} i jorden täcker med mycket stora marginaler Ca -behovet. Mängd Ca^{++} tillfört per 1,0 m³ bevattningsvatten uppgår till 68 kg och bidrager till en ytterligare förbättring av kalktillståndet. Tillförsel av gips är ej nödvändig i detta fall.

b) Bevattningsvattnet innehåller i jorden $4 \cdot 2,6 = 10,4 \text{ mekv } Na^+$ och $4 \cdot 3,4 = 13,6 \text{ mekv } Ca^{++}$. Detta resulterar i ett acceptabelt lågt SAR-värde = 4.

Lab 3. Mätning av elektrisk konduktivitet och titrering av klorid i ett mättat jordmasseextrakt

I denna laboration skall salthalten i två mättade jordmasseextrakt med olika lerhalt bestämmas medelst mätning av elektrisk konduktivitet samt titrering enligt 'Mohr'. De bägge metodernas resultat skall jämföras och eventuell resultatavvikelse kommenteras.

Teorin för konduktivitmätningen finns redovisad i uppsatsens teoridel (avsnitt 4.1 och 4.2 sid 12 till 15).

Mättning av jord genom tillsats av en NaCl-lösning. Salthalten i de använda jordarna är alltför låg för att en säker mätning skall kunna genomföras. Därför måste salt tillsättas.

Två jordar med olika lerinnehåll beredes enligt följande:

- a) Jord I, lerinnehåll (partikeldiam. $\leq 2\mu$) 8 %
- b) Jord II, lerinnehåll (partikeldiam. $\leq 2\mu$) 25 %

Väg upp 200 g torr jord av typ I resp. II i en plastskål. Bered sedan 200 ml NaCl 1,0 N i ett mätglas. Saltlösning tillsätts därefter jorden i små portioner under kraftig omröring. Konsolidera blandningen av jord och saltlösning genom att då och då stöta skålen mot arbetsbänken. Då jorden nått mättnadspunkten glimmar den vid ljusreflektion och flyter långsamt då skålen lutas. Speciellt jord med högt lerinnehåll glider fritt och rent av från spateln. Då jorden verkar ha nått mättnadspunkten tillåts den stå under minst 1 timme. Kontrollera därefter åter om den verkligen är mättad. Ingen fri saltlösning får flyta ovanpå jorden. Om så är fallet måste mera jord vägas upp och tillsättas. Jorden får ej heller förlora sin glans eller styvna märkbart. Tillsätt om så skulle vara fallet mera saltlösning. Notera till slut den totala mängden använd saltlösning. Den noterade mängden används sedan för beräkning av jordens vätskeinhåll.

Beredning av mättat jordmasseextrakt

Avsug den mättade jordmassan i en vattensug och samla sedan upp extraktet i ett provrör eller burk. Om initialfiltratet är grumligt kan det refiltreras genom jorden. För uppskattning av salthalten i

extraktet kan extraktionen göras endast några minuter efter beredningen av den mättade massan. Om jorden innehåller gips, kan konduktiviteten hos mättningsextraktet efter en stund öka med så mycket som 1 eller 2 mmhos·cm⁻¹. Den måste i så fall få stå under åtskilliga timmar före extraktionen av lösningen. Som allmän upplysning kan nämnas att om jorden skall analyseras med avseende på sin kemiska sammansättning måste den stå 4 till 16 timmar före extraktionen.

Mätningen av den elektriska konduktiviteten (EC):

Mät den elektriska konduktiviteten (EC) med en lämplig apparat. EC-värdet utgör en indikation på den totala koncentrationen av joniserade beståndsdelar hos lösningen och är nära relaterat till summan av katjoner (eller anjoner) som kan bestämmas kemiskt. Det är vanligen nära korrelerat med den totala lösta mängden av fasta kroppar. Metoden är snabb och ger ganska exakta bestämningar. Provet förlorar vid mätningen inga beståndsdelar eller förändras på annat sätt.

Följ noga föreskrifterna för den använda apparaten. Om apparaten ej har begagnats under en tid och mätcellen har varit torr skall denna före användandet doppas i etanol för att avlägsna eventuell oxid på dess elektroder. Vidare bör apparaten kontrolleras så att cellkonstanten verkligen uppgår till det angivna värdet. Använd härtill KCl-lösning (0,01 N). Följ anvisningarna i instruktionsboken. Nedanstående formel gäller för EC:

$$K = \frac{C}{R}$$

K = (kappa) = mho cm⁻¹ = siemens · cm⁻¹ (elektrisk konduktivitet)

C = cellkonstanten

R = det elektriska motståndet i ohm

Vid kontroll av cellkonstanten sättes det för KCl-lösningen i tabell angivna K -värdet in i formeln ovan. Det i lösningen uppmätta motståndet (R) sättes likaledes in i formeln och C beräknas därefter. Vid avvikelser mellan beräknad cellkonstant (C) och på elektroden angiven konstant användes i fortsättningen den nya, beräknade cellkonstanten. Man bör dock beakta att små skillnader mellan cellkonstantvärdena kan bero på att beredningen av KCl-lösningen ej har

varit tillräckligt noggrann eller att någon annan störning föreligger. I så fall bör det på elektroden aktuella värdet användas. Mycket stora skillnader i C-värde kan tyda på att apparaten är defekt. Det bör vidare noteras att platinaelektrodens C-värde brukar vara tillförlitligt. I denna laboration göres ingen korrigering för den ekvivalenta ledningsförmågan, emedan pH i extraktet är högt och H^+ -jonkoncentrationen kan förväntas vara låg (se avsnitt 4.1 och 4.2 teoridelen).

Bestämning av kloridjonkoncentrationen enligt Mohr

Av provextraktet tages 10 ml som spädes med enkeldestillerat vatten till en volym av 1 000 ml. Därefter blandas 100 ml av det spädda extraktet (motsvarar 1 ml av ursprungsextraktet) med 100 ml 0,01 mol K_2CrO_4 -lösning. Lösningen som nu innehåller fria Cl^- -joner och CrO_4^{--} -joner gulfärgas.

Titra nu med $AgNO_3$ droppvis. Vid titreringen binder Ag^+ först till Cl^- -jonerna. Då Cl^- -jonerna är slut binder $2Ag^+$ till CrO_4^{--} och det bildas ett rött färgkomplex. Lösningen blir alltså rödfärgad. Notera den exakta mängden $AgNO_3$ som åtgick. En viss övertitrering måste ske för att man skall uppmärksamma den röda fällningen. Övertitreringen kan bestämmas men är dock av så liten storleksordning att vi här bortser från denna. I övrigt se beräkningsgången på sid 00. OBS! Både $AgNO_3$ och K_2CrO_4 är mycket farliga gifter. Följ därför hanteringsanvisningarna på etiketterna.

Beräkning av NaCl i g per 100 g jord (konduktivitetsmätning)

Elektrisk konduktivitet

- Prov I (8 % ler) 200 g
- Uppmätt motstånd $R = 11,4$
- Cellkonstant $C = 0,73$
- $\kappa = \frac{C}{R} = \frac{0,73}{11,4} = 0,064 \text{ mho cm}^{-1} = 64 \text{ mmho} \cdot \text{cm}^{-1} \text{ (a)}$
- Tillsatt 42,5 ml saltlösning $/EC_{20} = 64 \text{ mmho} \cdot \text{cm}^{-1} \text{ (a)}$
- EC_{20} (diagram figur 1) = g NaCl/1 000 ml = a • g NaCl/1 extrakt

- NaCl i g per 100 g jord = $\frac{100}{200} \cdot \frac{\text{tillsatt vatten}}{1\,000} \cdot a$
 $= \frac{100}{200} \cdot \frac{42,5}{1\,000} \cdot 64,0 = 1,36 \text{ g NaCl/100 g jord}$
- Prov II (25 % ler) 200 g
- Uppmätt motstånd R = 10,8
- Cellkonstant C = 0,73
- $K = \frac{C}{R} = \frac{0,73}{10,8} = 0,0676 \text{ mho cm}^{-1} = 67,6 \text{ mmho} \cdot \text{cm}^{-1} \text{ (a)}$
- Tillsatt 76 ml saltlösning/ $EC_{20} = 67,6 \text{ mmho} \cdot \text{cm}^{-1} \text{ (a)}$
- EC_{20} (diagramfigur 1) = g NaCl/1 000 ml = a g NaCl/1 extrakt
- NaCl i g per 100 g jord = $\frac{100}{200} \cdot \frac{\text{tillsatt vatten}}{1\,000} \cdot a$
 $= \frac{100}{200} \cdot \frac{76}{1\,000} \cdot 67,6 = 2,5688 \text{ g NaCl/100 g jord}$

Beredning av lösningar:

- 100 ml K_2CrO_4 0,01 N (0,01 mol)

Molvikt enligt förpackning = 194,202 g/l

0,01 mol 194,202 = 1,9420 g/l = 0,1942 g/100 ml

Anm: Kalimkromatets normalitet skall vara 0,005 N i slutlösningen.

Då 100 ml K_2CrO_4 0,01 N löses i 100 ml provlösning fås $\frac{0,01}{2} = 0,005 \text{ N}$ kromatlösning.

- 100 ml $AgNO_3$ 0,100 N

Molvikt enligt förpackning = 169,88 g/l

0,1 mol = 16,988 g/l = 1,6988 g/100 ml

Beräkning av NaCl i g per 100 g jord (titrering enligt Mohr)

a) Jord I (8 % ler) 200 g

Åtgång $AgNO_3$ (0,100 N) vid titrering = 8,63 ml (t)

- NaCl i g per 1 liter extrakt

$$t \cdot 0,100 \cdot 1\,000 \cdot \frac{58,5}{1\,000} = t \cdot 5,85 = 8,63 \cdot 5,85 = 50,5 \text{ g/l}$$

- NaCl i g per 100 g jord

tillsatt vatten = 42,5 ml

$$t \cdot 0,100 \cdot \frac{100}{200} \cdot \text{tillsatt vatten} \cdot \frac{58,5}{1\,000} = t \cdot \text{tillsatt vatten} \cdot 0,0029$$

$$= 8,63 \cdot 42,5 \cdot 0,0029 = 1,064 \text{ g NaCl/100 g jord}$$

b) Jord II (25 % ler) 200 g

Åtgång $\text{Ag NO}_3(0,100 \text{ N})$ vid titrering = 10,49 ml

NaCl i g per 1 liter extrakt

$$t \cdot 0,100 \cdot 1\,000 \cdot \frac{5,85}{1\,000} = t \cdot 5,85 = 10,49 \cdot 5,85 = 61,36 \text{ g/l}$$

NaCl i g per 100 g jord

tillsatt vatten = 76 ml

$t \cdot \text{tillsatt vatten} \times 0,0029$

$$10,49 \cdot 76 \cdot 0,0029 = 2,312 \text{ g NaCl/100 g jord}$$

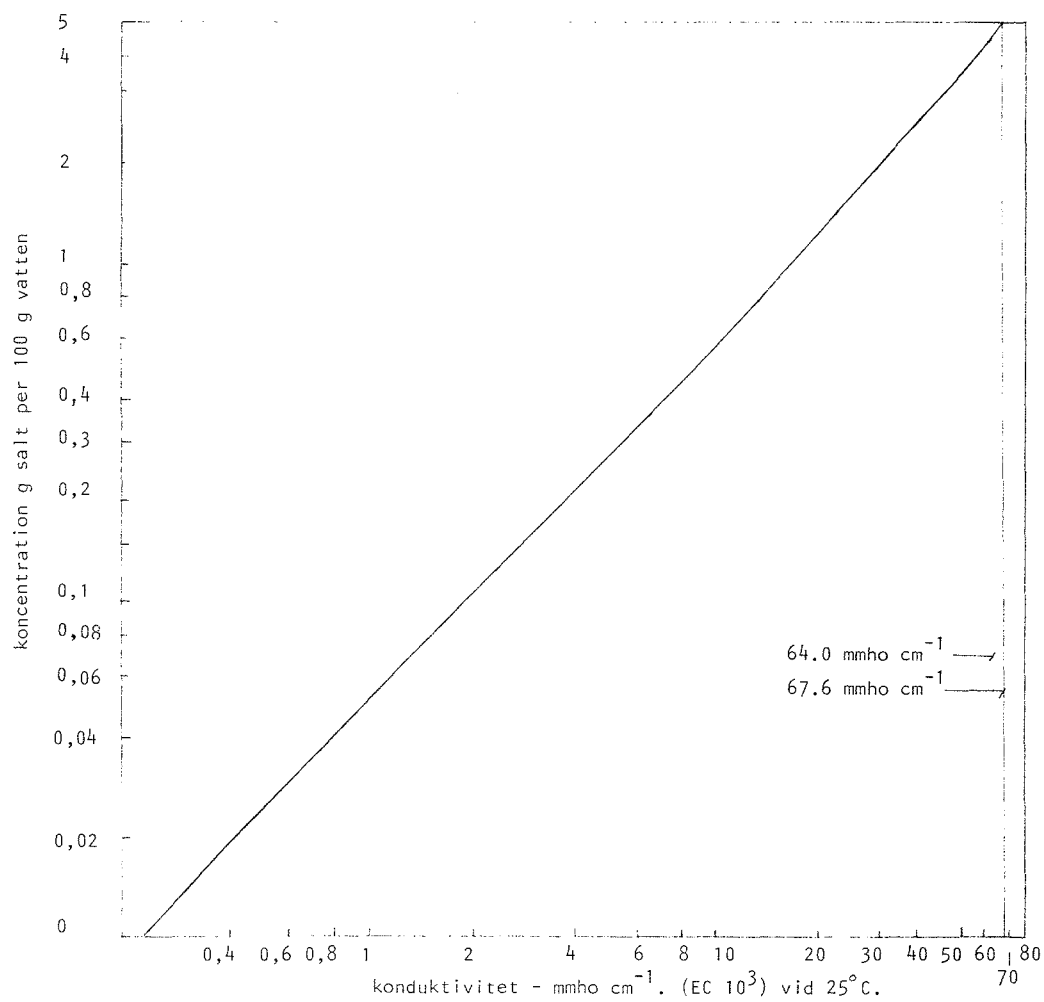
Kommentarer till beräkningsresultatet:

Jord II binder dubbelt så mycket salt som jord I per 100 g jord på grund av den stora skillnaden i lerhalt. En hög lerhalt ger en stor andel kolloider och därmed stor saltadsorptionsförmåga.

Jag skall här försöka ange en trolig förklaring till de resultatskillnader som föreligger vid bestämning av antalet gram NaCl per liter extrakt genom konduktivitetsmätning och genom titrering enligt Mohr.

Temperaturen i det använda extraktet var 20°C. Det diagram som användes vid resultatavläsningen i samband med konduktivitetsmätningen gäller vid en extrakttemperatur av 25°C. Vid 25°C är molekyllarrörelsen högre än vid 20°C. Diagrammet ger således ett för lågt värde vid 20°C.

En annan skillnad som också kan ha betydelse för slutresultatet är att konduktivitetsmätningen ger ett mått på den totala jonkoncentrationen i extraktet, medan titreringen avspeglar Na^+ -koncentrationen. Extraktets innehåll av andra joner än Na^+ kommer därför att ge ett högre värde vid konduktivitetsmätningen.

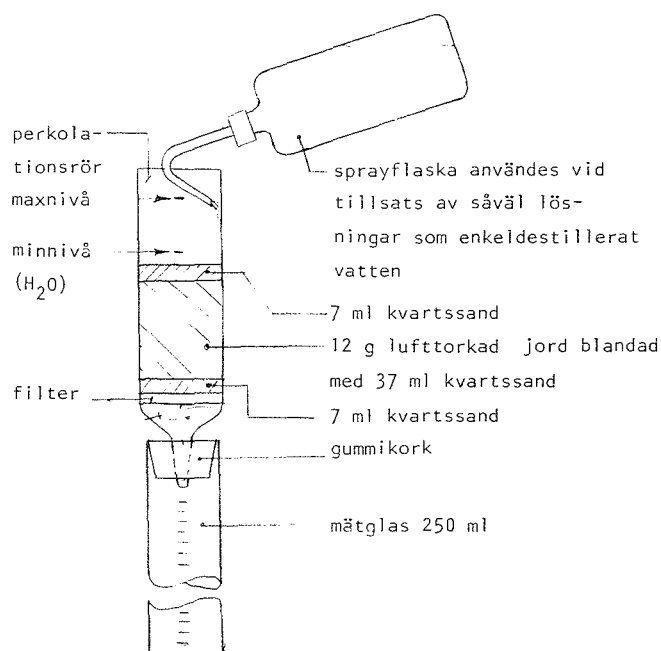


Figur 1. Koncentrationen i en enkel saltlösning relaterad till elektrisk konduktivitet (20)

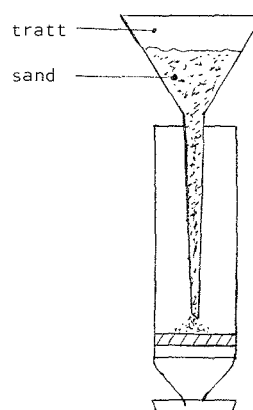
Lab. 4. Genomsläpplighet hos en Ca-lera och en Na-lera

Denna laboration bygger på den teori som finns presenterad i avsnitt 5.3, 5.3.1, 5.3.2, 5.3.4 sid 18 till 21 i uppsatsens teoridel. Läs dessa avsnitt före laborationens genomförande.

Två perkolationsrör innehållande filter, sand och jordlager i ordningställes förslagsvis enligt figur 1 och 2.



Figur 1. Perkolationsrör



Figur 2. Princip för tillförsel av sand

En tratt med en lång och ej för smal pip användes då sandlager respektive jordblandningen tillföres röret. Sand respektive blandat jordprov hälls försiktigt genom en tratt för att förhindra omblandning av skikten (figur 2).

Rör I perkolerar enl. fig. 1 med 100 ml approximativt mättad CaSO_4 -lösning. Om det visar sig nödvändigt skall vattensug användas. Den i mätglaset ansamlade lösningen kastas (gäller för både rör I och II).

Rör II. Perkolerar enl. fig. 1 med 100 ml NaCl 1,0 N.

Rör I respektive rör II perkolerar nu med enkeldestillerat vatten enligt fig. 1. Vatten påfyller till maximumnivå och tillåtes

sjunka till minimumnivå. Markeringarnas läge för dessa nivåer måste vara lika för rör I respektive II. Den genomrunna mängden vatten avläses på mätglaset och noteras var tionde minut under 50 till 60 minuter. Då mätglaset är fullt tömmer detta lämpligen i ett 1 000 ml mätglas medan perkolationsröret hålles över ett annat mätglas för att samla upp eventuellt dropp.

Beräkningar med kommentarer:

Beredning av lösningar

100 ml NaCl 1,0 N

Molvikt 58,44 g/l = 5,844 g/100 ml

100 ml mättad CaSO_4 -lösning

CaSO_4 tillsättes 100 ml enkeldestillerat vatten i mycket små portioner under omröring med magnetomrörare tills fritt CaSO_4 faller ut. Åtgången av CaSO_4 bör vara cirka 0,310 g/100 ml. Den utfällda kalciumsulfaten kan avlägsnas genom filtrering eller dekantering.

Resultat med kommentarer:

Följande resultat erhöles vid min genomgång av laborationen:

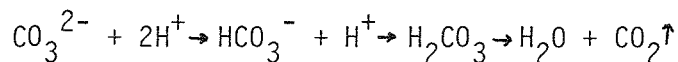
	Rör I	Rör II
<u>Tid</u>	<u>perkolat</u>	<u>perkolat</u>
10 min	152 ml	73 ml
20 min	285 ml	114 ml
30 min	398 ml	140 ml
40 min	495 ml	154 ml
50 min	579 ml	166 ml

Ovanstående resultat visar att rör II innehållande jord mättad med NaCl-lösning släpper igenom mycket mindre vatten än rör I. Detta förklaras av den dispergerande verkan som Na^+ utövar på jordpartiklarna. Jorden slammar med andra ord igen. Na^+ -jonens lägre valens och större jonradie jämfört med Ca^{++} -jonen förklarar dess dispergerande verkan. Ca^{++} -jonen har däremot en utflockande förmåga som strukturstabiliserar jorden (se avsnitt 11.5, 12.2 och 12.3 i den separata teoridelen).

Lab. 5. Gravimetrisk bestämning av CO_3 som CaCO_3 enligt van Wesemael

Metodik:

Denna metod bygger på att HClO_4 (perklorsyra) får reagera med i jorden befintlig CaCO_3 enligt följande formel:



Koldioxiden avgår alltså och viktnedgången som motsvarar avgående mängd CO_2 noteras. Ett referensprov innehållande 0,5 g ren CaCO_3 får också reagera med HClO_4 och viktnedgången noteras även här. Jordprovets procentandel CaCO_3 beräknas sedan enligt följande formel:

$$\frac{c}{d} \cdot 0,5 \cdot 100 \% \text{ CaCO}_3 / 100 \text{ g jord}$$

g jord

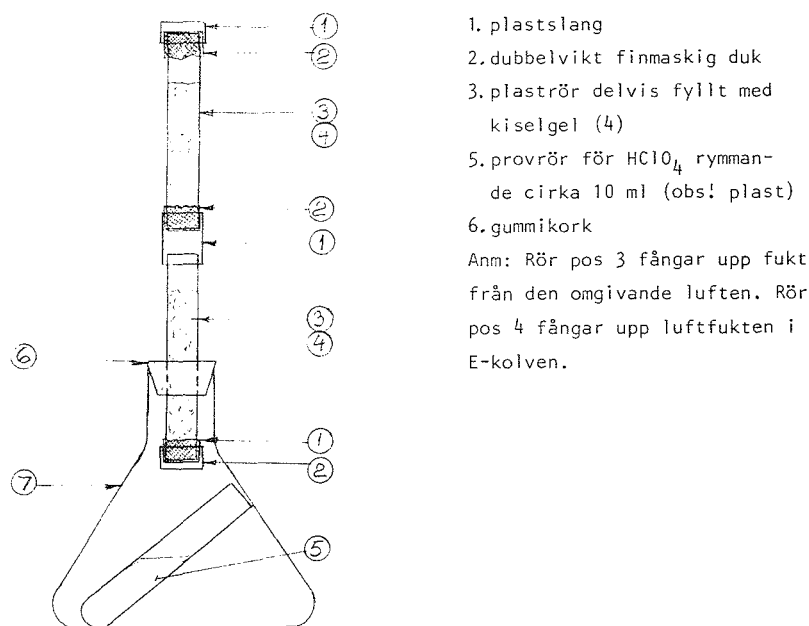
c = viktnedgång av jordprov

d = viktnedgång av referensprov

0,5 = vikten i gram av använd mängd referensprov.

Material:

Två apparater enligt van Wesemaels princip iordningställes enligt figur 1.



Figur 1. Apparat för bestämning av CO_3 som CaCO_3 enligt van Wesemael.

Utförande:

Först uppväges 5 g jord i en E-kolv och därefter placeras provrör pos 5 fyllt med HClO_4 i kolven (figur 1). Observera att ingen perklorosyra får spillas på jordprovet. Hela hanteringen av den mycket vådliga perklorosyran måste ske i dragskåp och skyddshandskar skall ovillkorligen användas. E-kolven med rör nr 4 och 5 väges sedan och vikten noteras med minst tre decimalers noggrannhet. Därefter påsättes rör nr 3 och flaskan skakas försiktigt på ett sådant sätt att en del av perklorosyran rinner ut och får reagera med provet. Flaskan skakas därefter var femtonde minut under cirka två timmar tills all perklorosyra har runnit ut i provet. Slutvägning sker nu med rör pos 3 avlägsnat och vikten noteras. Ovanstående procedur utföres samtidigt med den andra apparaten, men här skall istället för jordprovet 500 mg CaCO_3 tillsättas.

Beräkningar:

Beredning av 25 ml HClO_4 4,0 N

$$1 \text{ liter } \text{HClO}_4 = 1,67 \text{ kg}$$

HClO_4 -lösningen är 70 procentig, dvs

$$0,7 \cdot 1,67 = 1,169 \text{ kg/l}$$

$$\text{Molvikt} = 100,46 \text{ g/l}$$

$$1 \text{ N} = \frac{100,46}{1,169} = 85,94 \text{ g/l}$$

$$4 \text{ N} = 4 \cdot 85,94 = 343,76 \text{ g/l}$$

$$25 \text{ ml } \text{HClO}_4 \text{ 4,0 N} = \frac{343,76}{40} = \underline{8,60 \text{ ml/25 ml}}$$

Bestämning av karbonathalt:

	<u>Jordprov</u>	<u>Referens</u>
Vikt före skakning	143,769	127,473
Vikt efter skakning	<u>- 143,732</u>	<u>-127,323</u>
Viktminskning	0,037	0,150

100 g jord innehåller:

$$\frac{0,037}{0,150} \cdot 0,5 \cdot 100 = 2,46 \% \text{ CaCO}_3$$

Resultat:

Jorden innehåller 2,46 % CaCO_3 .

Lab. 6. Saltbalansberäkningar för bevattnad mark

I denna laboration skall två saltbalansberäkningar utföras, som bygger på de teorier som finns presenterade i avsnitt 10 sid 40 till 43 i uppsatsens separata teoridel. Läs därför först igenom detta avsnitt före genomförandet av beräkningarna.

Exempel 1

Givet:

Årlig evapotranspiration från grödan	$ET = 1\,800\text{ mm}$
Total årlig nederbörd	$R = 750\text{ mm}$
Del av årlig nederbörd som djupperkolerar	$LR_r = 200\text{ mm}$
Del av årlig bevattning som djupperkolerar	$LR_i = \text{beräknas}$
Kapillära grundvattenstigningen	$G = 0\text{ mm}$
Bevattningsvattnets konduktivitet	$EC_i = 2,0\text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$
Konduktiviteten hos ett mättnadsextrakt vid vilket 25 % av skördereduktionen sker	$EC_e = 3,0\text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$
Djupperkolation under rotnivå ($EC_p = 2EC_e \cdot 25\%$)	$EC_p = 6,0\text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$

- Beräkna först det totala bevattningsbehovet (I) samt urlakningsprocenten (L).
- Beräkna urlakningsprocenten om inget vatten tillföres i form av nederbörd.

Exempel 1

Beräkningar:

- Nettoregn som utnyttjas av grödan

$$R_c = R - LR_r = 750 - 200 = 550\text{ mm}$$

Nettobevattningsbehovet

$$I_c = ET - R_c = 1\,800 - 550 = 1\,250\text{ mm}$$

Saltinflöde genom bevattning.

$$I \cdot EC_i = (I_c + LR_i) \cdot EC_i = (1\,250 + LR_i) \cdot 2,0 = 2\,500 + 2,0 LR_i$$

Utflöde av salt genom djup perkolatation:

$$LR \cdot EC_p = (LR_r + LR_i) \cdot EC_p = (200 + LR_i) \cdot 6,0 = 1\,200 + 6,0 LR_i$$

Saltbalans råder då:

saltinflöde = saltutflöde, dvs:

$$2\,500 + 2,0 LR_i = 1\,200 + 6,0 LR_i$$

$$4,0 LR_i = 1\,300$$

$$LR_i = 325$$

Totala urlakningsbehovet:

$$I = I_c + LR_i = 1\,250 + 325 = 1\,575 \text{ mm}$$

$$\text{Urlakningsprocenten } L = \frac{LR_i \cdot 100}{I} = \frac{325}{1\,575} = 21 \%$$

b) Urlakningsprocenten utan regn tecknas:

$$I \cdot EC_i = LR_i \cdot EC_p \text{ eller } (I_c + LR_i) \cdot EC_i = LR_i \cdot EC_p$$

$$(1\,250 + LR_i) \cdot 2,0 = 6,0 LR_i$$

$$2\,500 + 2,0 LR_i = 6,0 LR_i$$

$$LR_i = \frac{2\,500}{4} = 625$$

$$I = I_c + LR_i = 1\,250 + 625 = 1\,875 \text{ mm}$$

$$\text{Urlakningsprocenten } L = \frac{LR_i \cdot 100}{I} = \frac{625 \cdot 100}{1\,875} = \sim 33 \%$$

Exempel 2

Givet:

Bevattningsvattnets konduktivitetsvärde $EC_i = 2,5 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$

Konduktivitetsvärdet hos det djupperkolerande
bevattningsvatten (perkolatation under rotzonen) $EC_p = 10 \text{ mmhos} \cdot \text{cm}^{-1}$

Mängd bevattningsvatten som tränger in i
rotzonen $IC = 8 \text{ mm} \cdot \text{dag}^{-1}$

Beräkna hur stor procent av det infiltrerande bevattningsvattnet som minst måste djupperkolera för att saltbalansen skall bibehållas.

Följande ekvation användes:

$$LR = \frac{EC_i}{EC_p - EC_i} \cdot I_c \text{ och } I = I_c + LR$$

Exempel 2

Beräkningar:

$$LR = \frac{EC_i}{EC_p - EC_i} \cdot I_c$$

$$LR = \frac{2,5}{10 - 2,5} \cdot 8 = 2,7 \text{ mm} \cdot \text{dag}^{-1}$$

$$I = I_c + LR$$

$$I = 8 + 2,7 = 10,7 \text{ mm} \cdot \text{dag}^{-1}$$

$$\text{Urläkningsprocenten } L = \frac{EC_i \cdot 100}{EC_p} = \frac{LR \cdot 100}{I}$$

$$\frac{2,7 \cdot 100}{10,7} = \sim 25 \%$$

SAMMANFATTNING

Salter förekommer i jonform lösta i markvattnet, adsorberat på adsorptionskomplexet som katjoner eller i utfälld form. Mellan dessa företeelseformer råder en dynamisk utbytesjämvikt.

Bestämning av salthalten kan ske genom att mäta marklösningens elektriska konduktivitet ($\text{me} \cdot \text{L}^{-1}$), som ger ett mått på den totala jonkoncentrationen i jorden. Vi kan härigenom få en uppfattning om de osmotiska krafter som växterna utsätts för, eftersom det råder ett proportionellt förhållande mellan saltkoncentrationen och de osmotiska krafterna.

Markförsaltning ger upphov till osmotiska problem, toxiska problem och strukturproblem.

De osmotiska problemen uppkommer genom att saltet binder vatten i proportion till jordens totala saltkoncentration. Växterna måste härigenom använda större energi för att ta till sig vatten.

Växterna kan också förgiftas genom för stora upptag av främst Na^+ -, B^+ - och Cl^- -joner. Strukturproblem uppkommer genom att jorden dispergerar. Dispersionen förorsakas av att de sammanhållande attraktionskrafterna mellan kolloiderna avtar i paritet med tilltagande tjocklek av det diffusa dubbelskiktet. Tjockleken av skiktet bestäms dels av marklösningens saltkoncentration dels av sammansättningen hos de adsorberade katjonerna. En låg saltkoncentration medför ett expanderande dubbelskikt på kolloidens yta som resulterar i ökad dispersion medan en hög koncentration medför ett komprimerat skikt och tilltagande utflockning hos kolloiderna.

Divalenta katjoner, främst Ca^{++} , som adsorberas på kolloidernas yta ger upphov till ett komprimerat skikt medan en stor andel monovalenta katjoner, främst Na^+ , medför ett expanderande skikt med tilltagande dispersion som följd.

Ett högt ESP-värde, dvs en hög Na^+ -andel i förhållande till Ca^{++} och Mg^{++} i samband med en i övrigt låg saltkoncentration i marklösningen, främjar dispersionen.

En växt kan förgiftas eller hämmas i sin tillväxt dels direkt genom att näringsupptaget försvåras på grund av en ofördelaktig jonsammansättning i marklösningen, dels indirekt genom att skada mikroorganismer i marken som har betydelse t.ex. för växtens kväve-

fixering. En ökad saltkoncentration ger en progressiv hämning av groningsförloppet. Denna effekt förstärks av tilltagande temperatur och ökad markfuktighetstension.

Vid klassificering av saltjordar användes EC_e -värdet respektive ESP-värdet som diagnostiska parametrar för det osmotiska tillståndet respektive för markens dispergeringsstatus. En jord som innehåller mycket salt kan ibland också identifieras genom okulärbesiktning i fält. Identifiering på laboratorium är dock helt nödvändig för en säker klassificering.

En saltjord kan uppkomma genom direkt försaltning vid tillförsel av regnvatten eller bevattningsvatten i samband med otillräcklig urlakning. Försaltning kan också uppkomma genom kapillär upptransport eller genom att salt tillföres genom sippring.

Endast i de fall då natriumjonen är den dominerande lösliga katjonen i marklösningen fås ett ökat utbyte av andra katjoner på utbyteskomplexet mot Na^+ . Denna process benämnes alkalinisering. Marklösningens koncentration av Na^+ ökar med en ökande halt av CO_2^{--} och HCO_2^- på grund av att Ca^{++} bildar svårlösliga salter med dessa joner. Kalciumjonen konkurrerar därmed inte med Na^+ vid ockupationen på utbyteskomplexet.

Saltbalansen i jorden regleras främst genom att bevattningsvatten av god kvalitet tillförs. Grundprincipen vid beräkning av saltbalansen är att lika mycket salt som transporteras in i rotzonen skall bortföras genom urlakning.

Bevattningsvattnets kvalitet värderas efter flera olika system. Det mest använda systemet är utarbetat av USA:s saltlaboratorium och bygger på en klassificering i fyra olika klasser (C_1 - C_4), baserade på elektriska konduktivitetsvärden.

Det finns ett samband mellan EC_i (bevattningsvatten) och EC_e (mättat extrakt). Risken för försaltning kan därför diagnosticeras på basis av EC_i -värdet.

Då bevattningsvatten med alltför låg salthalt användes föreligger risk för att jorden skall dispergera. Detta sammanhänger med att dispergeringsmotståndet minskar när dubbelskiktet expanderar till följd av markvätskans utspädning. En riskbedömning kan göras med hjälp av bevattningsvattnets uppmätta EC_i -värde och SAR_i -värde.

EC_i -värdet användes för att bedöma den dispergerande effekten. SAR_i -värdet anger andelen Na^+ -joner i förhållande till Ca^{++} - och Mg^{++} -joner.

Det finns ett nära samband mellan SAR_i , SAR_e (mättad lösning) och jordens ESP-värde. Då SAR_e -värdet är känt kan det korresponderande ESP-värdet utläsas ur diagram. Förhållandet mellan SAR_e och ESP-värdet kompliceras av semilösligheten hos Ca- och Mg-salterna i jorden. Då bikarbonat finns tillgängligt i jorden fälls dessa salter ut som olösliga karbonater när jorden torkar ut. Härigenom ökar den relativa koncentrationen av Na^+ i jorden, vilket medför en försämrade infiltration, ökat pH och en ökad dispersion.

Vattenkvaliteten kan bestämmas genom beräkning av överskottet av natriumkarbonat.

Förenta staternas saltlaboratorium klassificerar bevattningsvatten med hänsyn till natriuminnehållet i fyra klasser (S_1 - S_4) relaterade till SAR_i -värdet.

I tropiska länder uppstår ofta skador på grödorna i samband med att sprinklerbevattning eller avloppsvatten användes vid bevattningen.

Vid sprinklerbevattningen brännskadas bladen genom direktupptag av vatten, som innehåller överskott av natrium och klor. Rotsaltupptaget ökar också på de ytor som undgår bevattning.

Vid bevattning med avloppsvatten användes ibland otillräckligt renat vatten, varvid tungmetaller anrikas. Avloppsvatten kan dock med fördel användas om reningsprocessen hålls under uppsikt.

Rening av bevattningsvatten kan ske med kemikalier, varvid skadliga joner fälls ut. Gips ($CaSO_4 \cdot 2H_2O$) är mycket användbart som förbättringsmedel på grund av sin låga löslighet. Det användes till att förbättra Ca^{++}/Na^+ - och Ca^{++}/Mg^{++} -kvoten.

Vid bestämning av vilka markvårdande åtgärder som skall vidtagas för att förbättra en salt- eller alkaljord måste först en säker diagnos över jordens tillstånd ställas. Viktiga faktorer är t.ex. jordens art, dvs om den är salt, alkalisk eller salt-alkalisk och graden av salt eller alkalitet i jorden.

Bevattningsvattnets kvalitet, dräneringskarakteristik, markens topografi och närvaro av täta lager kalksten eller lera i jorden är också viktiga faktorer att bestämma.

En varaktig förbättring av jorden kan erhållas t.ex. genom sänkning av grundvattenytan, förbättring av jordens infiltrationsgrad, anläggning av en effektiv dränering, utbytande av överskottet av Na-salter mot Ca-salter och avlägsnande av de utbytta produkterna samt användande av lämpliga bruksmetoder.

Förbättring av saltjordar kan erhållas genom bevattning med ett vatten av god kvalitet och genom anordnande av ett väl fungerande dräneringssystem som medger en effektiv urlakning.

Alkalijordar är mycket svåra att förbättra på grund av deras låga genomsläpplighet. Utbytbart natrium måste ersättas med kalcium. Det utbytta natriumet måste dessutom urlakas till ett stort djup. Ersättning med kalcium sker bäst genom tillsats av gips.

I alkaliska jordar som innehåller mycket kalk kan en förbättring uppnås genom att man låter kalciumkarbonatet reagera med ett acidifierande material. Acidifierande material är t.ex. svavel, svavelsyra och aluminiumsulfat.

Salt-alkaliska jordar förbättras genom att överskottssaltet först urlakas ned till ett EC_e -värde av $6-8 \text{ mmho} \cdot \text{cm}^{-1}$ innan resterande natrium avlägsnas med gips.

Viktiga odlingsåtgärder är en korrekt beredning av såbädden och placering av utsädet. Såbädden kan exempelvis utformas som en enkelradsbädd eller dubbelradsbädd i olika varianter. Bevattningen sker i båda fallen i varje eller varannan fåra mellan bäddarna. Salt ackumuleras på så sätt i olika lägen i bädden beroende på bäddutförande och principen för vattentillförseln. Utsädet placeras i den del av bädden där den minsta saltackumuleringen sker.

De sex laborationer som ingår i uppsatsen behandlar i nämnd ordning utflockningshastigheten hos jordar med varierande ESP, gipsbehovet, mätning av elektrisk konduktivitet och titrering med klorid i ett mättat jordmasseextrakt. Vidare belyses genomsläppligheten hos en Ca-lerjord och en Na-lerjord, gravimetrisk bestämning av CO_3 som CaCO_3 enligt van Wesemael och saltbalansberäkningar för bevattnad mark.

LITTERATURFÖRTECKNING

1. Arnon, I. 1972. The maintenance of a permanent irrigation agriculture. In: Crop production in dry regions. Leonard Hill, London. (sid. 239, 242, 243, 252-255).
2. Bernstein & Hayward, H.E. 1958. Physiology of plant tolerance. Ann. Rev. Pl. Physiol. 9. (sid. 35, 36).
3. Bolt, G.H. & Bruggenwert, M.G.M. 1976. Soil chemistry, part A: Basic principles, Elsevier, Amsterdam. (sid 180).
4. Eaton, F.M. 1942. Toxicity and accumulation of chloride and sulfate salts in plants. J. Agric. Res. 64. (sid. 378, 389, 395).
5. Eaton, F.M. 1950. Significance of carbonates in irrigation water. Soil Sci. 69. (sid. 124, 125).
6. Eriksson, J. 1981. Bevattning. Kompendium i tropiskt lantbruk. Block III. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala (sid. 68, 69).
7. FAO. 1976. Water quality for irrigation. Irrigation and drainage paper no 29. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome. (sid. 7).
8. Fireman, M. & Kraus, Y. 1965. Salinity control in irrigated agriculture. Tahal Water Planning for Israel, Tel-Aviv. 46 pp. Cit. Smedema, L.K. & Rycroft, D.W. 1983. Land drainage: Planning and design of agricultural drainage systems.
9. Greaves, J.E. & Jones, L.W. 1941. The survival of micro-organisms in alkali soils. Soil Sci. 52. (sid. 362-364).
10. Grillot, C. 1956. The biological and agricultural problems presented by plants tolerant of saline or brackish water and the employment of such water for irrigation. Arid Zone Res. 4. Unesco, Paris. (sid. 11, 16).
11. Hayward, H.E. & Wadleigh, C.H. 1949. Plant growth in saline and alkali soils. Adv. Agron. 1. Academic Press, New York. (sid. 24).
12. Hayward, H.E. 1956. Plant growth under saline conditions. Arid Zone Res. 4. Unesco, Paris. (sid. 43, 44).
13. Hägg, G. 1969. Fällningstitreringen. Kemisk reaktionslära. Almqvist & Wiksell, Stockholm. (sid. 165-167).
14. Laborationskompendium i marklära för agr. och hort. stud. 1982. Sveriges Lantbruksuniversitet, Uppsala. Avd. för marklära, (sid 18:1, 18:2).

15. Michael, A.M. 1978. Salt problems in irrigated agriculture. In: Irrigation; Theory and practice, New Delhi. (sid. 693, 721, 722, 725, 731-737).
16. Rijtema, P.E. 1963. Soil moisture forecasting. Institute for Land and Water Management, Wageningen. Nota 513. Cit. Smedema, L.K. & Rycroft, D.W. 1983. Land Drainage: Planning and design of agricultural drainage systems.
17. Schafstad, E. & Visscher, Chr. 1981. Laboratory experiments with saline and alkali soils. Twentieth International Course on Land Drainage. Wageningen. (sid. 1-6).
18. Schafstad, E. & Visscher, Chr. 1981. Case Study Chacupe (leaching), Twentieth International Course on Land Drainage. Wageningen. (sid. 3, 9, 10).
19. Smedema, L.K. & Rycroft, D.W. 1983. Land Drainage: Planning and design of agricultural drainage systems. Batsford Academic and Educational Ltd, London. (sid. 239-279).
20. USDA 1954. Diagnosis and improvement of saline and alkali soils. Agricultural handbook no 60. US Department of Agriculture, Washington DC. (sid. 11, 20, 26, 29, 30, 49, 71, 79, 80, 81).
21. Van der Molen, W.H. 1973. Salt balance and leaching requirement. In: Drainage principles and applications. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen. (sid. 62-64). Publication 16. Volume II.
22. Vose, P.B. 1963. Varietal differences in plant nutrition. Herbage Abstr. 33. Commonwealth Agricultural Bureaux. Farnham Royal. (sid. 5, 6).
23. Wiklander, L. 1976. Marklära. Kompendium. Lantbrukshögskolan, Uppsala. Avd. för marklära. (sid. 102-104, 109-112).